

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**SOTILAAN FYYSISEN TOIMINTAKYVYN JA KEHON KOOSTUMUKSEN MUUTOSTEN YHTEYDET TEHTÄVÄSIMULAATION SUORITUKSEN MUUTOKSEEN KUUDEN KUUKAUDEN KRIISINHALLINTAOPERAATION AIKANA**

Pro gradu -tutkimus

Yliluutnantti  
Joonas Helén

Maisterikurssi 6  
Maasotalinja

Huhtikuu 2017

# MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 6	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Joonas Helén	
Opinnäytetyön nimi <b>Sotilaan fyysisen toimintakyvyn ja kehon koostumuksen muutosten yhteydet tehtäväsäimulaatioradan suorituksen muutokseen kuuden kuukauden kriisinhallintaoperaation aikana</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kirjasto
Aika Huhtikuu 2017	<b>Tekstisivuja 51</b> <b>Liitesivuja 0</b>
<p><b>TIIVISTELMÄ</b></p> <p>Fyysisen toimintakyvyn tehtäväkohtaiset vaatimukset ja niiden mittaaminen ovat tällä hetkellä tärkeimmät tutkimuskohteet sotilaan terveyden ja toimintakyvyn alalla. Viime vuosina eri asevoimissa on tutkittu ja otettu käyttöön sotilastehtävissä tyypillisiä suorituksia mittaavia simulaatiotestejä. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutokset ovat yhteydessä sotilaan lajinomaista suorituskykyä arvioivan tehtäväsäimulaatioradan ajan muutokseen. Toisena tavoitteena oli selvittää, minkälaisia vasteita radan suorittaminen aiheuttaa alaraajojen lihasaktiivisuudessa, veren laktaatissa sekä kuormitustuntemuksessa ja pohtia niiden yhteyttä suoritus aikaan.</p> <p>Tutkimukseen osallistui 58 vapaaehtoista rauhanturvaajaa (<math>29,2 \pm 8,3</math> vuotta, <math>78,1 \pm 7,9</math> kg, <math>179,9 \pm 6,4</math> cm), joilta mitattiin 6 kuukautta kestäneen kriisinhallintapalveluksen alussa ja lopussa 1) kehon koostumus: paino, lihasmassa, rasvamassa, rasvaprosentti ja vyötärön ympärys sekä 2) fyysinen toimintakyky: 3 000 metrin juoksu, ala- ja yläraajojen isometrinen maksimivoima, vauhditon pituushyppy, istumaannousu, etunojapunnerrus ja käsinkohonta. Tehtäväsäimulaatioradan yhteydessä mitattiin alaraajojen lihasten sähköinen aktiivisuus (EMG) shortseihin integroiduilla tekstiilelektrodeilla. Ennen ja jälkeen radan suoritusta mitattiin veren laktaatti (La) ja kuormitustuntemus (RPE). Tuloksia tarkasteltiin alku- ja loppumittausten keskiarvoina sekä mittausten välissä tapahtuneena prosentuaalisena muutoksena. Yhteyksiä tutkittiin Spearmanin korrelaatioanalyysillä ja lineaarisella askeltavalla regressioanalyysillä.</p> <p>Tehtäväsäimulaatioradan suoritus aika parani (<math>-11,3 \pm 6,7</math> %, <math>p &lt; 0,001</math>). Suorituksen aikana mitattu EMG nousi radan kaikissa vaiheissa. Suorituksen jälkeen mitattu La<sub>POST</sub> nousi mittaustaksojen vertailussa (<math>62,7 \pm 55,1</math> %, <math>p &lt; 0,001</math>). La<sub>PRE</sub> ja RPE eivät muuttuneet. Kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutosten ja tehtäväsäimulaatioradan ajan muutoksen välillä havaittiin vain keskinkertaisia yhteyksiä. Voimakkain yhteys oli 3 000 metrin juoksuajan muutoksella (<math>r = 0,462</math>, <math>p &lt; 0,01</math>). Regressioanalyysissä selittäjiksi nousivat 3 000 metrin juoksun, lihasmassan ja vyötärön ympäryksen muutos, mutta mallien selitysasteet olivat heikkoja (<math>R^2_{adj.} = 0,262-0,365</math>).</p> <p>Tässä tutkimuksessa ei löydetty vahvoja selittäjiä tehtäväsäimulaatioradan ajan muutokselle. Valtaosa muutoksesta selittyi muilla, tuntemattomilla tekijöillä. Oppimisvaikutuksella ja motivaatiolla saattoi olla suuri merkitys. Eri energiantuottomekanismien yhteyksistä suoritusajan muutokseen ei saatu riittävän tarkkaa tietoa. Erityisesti anaerobisen kapasiteetin merkityksestä sotilaan fyysiselle toimintakyvylle on saatava lisää tutkimustietoa. Sotilaiden tehtäväsäimulaatiotestien kehittämistä Puolustusvoimissa on jatkettava.</p>	
<p><b>AVAINSANAT</b></p> <p>fyysinen toimintakyky, kehon koostumus, tehtäväsäimulaatiorata, kuntotestaus, KRITOKY</p>	

# Sisällys

1 JOHDANTO .....	1
2 FYSIOLOGISET PERUSTEET .....	3
2.1 Hermo-lihasjärjestelmä.....	3
2.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistö .....	4
2.3 Energia-aineenvaihdunta .....	6
2.4 Lihasväsymys ja elektromyografia.....	8
3 SOTILASTEHTÄVIEN FYYSISET VAATIMUKSET .....	11
3.1 Kuormittuminen taistelukentällä .....	12
3.2 Taisteluvarustus .....	13
3.3 Aerobinen suorituskyky .....	14
3.4 Lihasvoima ja anaerobinen suorituskyky .....	15
4 KUNTOTESTAUS .....	17
4.1. Puolustusvoimien kuntotestaus .....	17
4.2. Kuntotestaus eri maiden asevoimissa.....	18
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	22
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	24
6.1 Tutkimusasetelma ja koehenkilöt .....	24
6.2 Mittaukset .....	25
6.3 Tilastolliset menetelmät .....	29
7 TULOKSET .....	30
7.1 Kehon koostumus .....	30
7.2 Fyysinen toimintakyky .....	30
7.3 Elektromyografia, laktaatti ja kuormitustuntemus .....	33
7.4 Muuttujien ja muutosten väliset yhteydet .....	35
8 POHDINTA .....	39
8.1 Muutosta selittävät tekijät .....	40
8.2 Tutkimuksen arviointi .....	47
8.3 Jatkotutkimusehdotukset .....	48
9 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	51
10 LÄHTEET.....	52

# **SOTILAAN FYYSISEN TOIMINTAKYVYN JA KEHON KOOSTUMUKSEN MUUTOSTEN YHTEYDET TEHTÄVÄSIMULAATORADAN SUORITUKSEN MUUTOKSEEN KUUDEN KUUKAUDEN KRIISINHALLINTAOPERAATION AIKANA**

## **1 JOHDANTO**

Nykyaikainen sodankäynti edellyttää sotilaalta monipuolista fyysistä toimintakykyä, kuten maksimi- ja nopeusvoimaa, lihaskestävyyttä, sekä aerobista ja anaerobista suorituskkyä. Myös kehon koostumuksen on oltava sotilastyöhön edullinen. (Nindl ym. 2015.) Sotilaan fyysisen toimintakyvyn vaatimukset ja niiden mittaaminen ovat tällä hetkellä tärkeimmät tutkimuskohteet sotilaan terveyden ja toimintakyvyn alalla (Hydren & Zambraski 2015). Perinteisten kuntotestien validiteetti ei välttämättä ole riittävä arvioimaan, miten hyvin sotilaat menestyvät sodanajan tehtävissä (Harman & Frykman 1992). Omalla kehonpainolla suoritetuissa testeissä voi saavuttaa erinomaisia tuloksia myös ilman suurta absoluuttista lihasvoimaa ja -kestävyyttä, jota nykyaikaisen taistelun luonne vaatii (Vanderburgh 2007). Fyysinen toimintakyky voi muuttua oleellisesti, kun sotilas toimii raskaassa taisteluvälinevarustuksessa (Treloar & Billing 2011; Billing ym. 2015).

Viime vuosina tutkimuksen kohteena ovat olleet testit, jotka mittaavat sotilastehtäville tyypillisiä suorituksia, kuten haavoittuneen evakuointi, taakan kantaminen ja nostaminen sekä liikkuminen raskaassa taisteluvälinevarustuksessa. Näitä suorituksia on myös yhdistelty lyhyttä taistelutilannetta kuvaileviin simulaatiotesteihin, joita on myös viime vuosina otettu käyttöön esimerkiksi Kanadan puolustusvoimissa ja Yhdysvaltain asevoimissa (Gagnon ym. 2015; Foulis ym. 2015.)

Vuonna 2014 järjestettiin Bostonissa sotilaan fyysisen toimintakyvyn konferenssi (Third International Conference on Soldier Physical Performance). Osallistujilta kysyttiin, mitkä ovat sotilaan terveyden ja fyysisen toimintakyvyn tärkeimpiä tutkimuskohteita. Kyselyyn vastasi 140 alan asiantuntijaa 22 eri maasta. Tärkeimpänä aiheena pidettiin operatiivisten tehtävien vaatimaa fyysistä toimintakykyä, toiseksi tärkeimpänä fyysisen toimintakyvyn mittaamista. Kolmanneksi tärkeimpänä pidettiin tuki- ja liikuntaelimistön vammojen välttämistä ja neljäntenä tehtäväkohtaisten fyysisten vaatimusten määrittämistä. (Hydren & Zambraski 2015.)

Puolustusvoimien kuntotestit eivät mittaa tällä hetkellä anaerobista suorituskkyä, jota vaaditaan lyhytkestoisessa kovatehoisessa suorituksessa. Lisää tutkimustietoa tarvitaan simulaatiotestien tarpeellisuudesta arvioimaan sotilaiden fyysistä toimintakykyä. Käytettävien kuntotestien on oltava valideja, luotettavia, turvallisia ja helposti toteutettavia (Reilly ym. 2015).

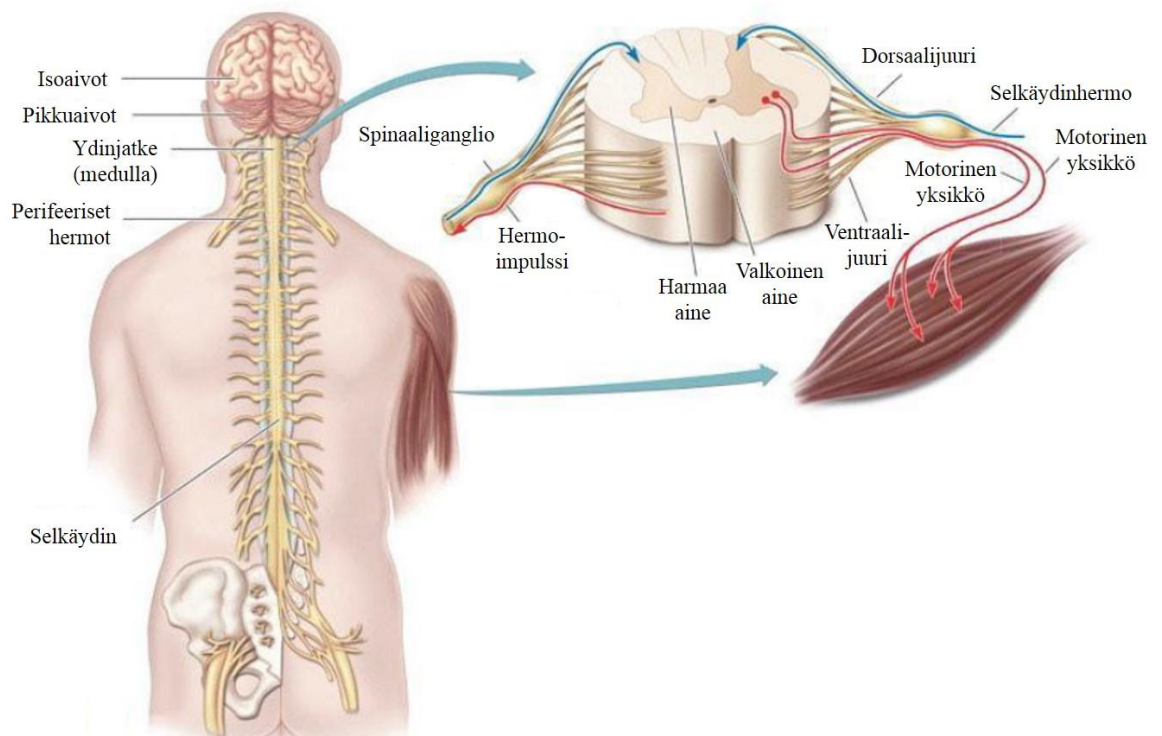
Tämän tutkimuksen aineisto on osa laajempaa Kriisinhallintajoukkojen toimintakykytutkimusta (KRITOKY), joka toteutettiin kuuden kuukauden kansainvälisen operaation aikana Libanonissa. KRITOKY-tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, millaisia muutoksia sotilaiden toimintakyvyssä ja terveydentilassa tapahtuu. Sotilaiden lajinomaista fyysistä toimintakykyä arvioitiin taisteluvälinevarustuksessa suoritettavalla tehtäväsimulaatoradalla. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutokset ovat yhteydessä tehtäväsimulaatoradan ajan muutokseen. Toisena tavoitteena oli selvittää, minkälaisia vasteita radan suorittaminen aiheuttaa alaraajojen lihasaktiivisuudessa, veren laktaatissa sekä kuormitustuntemuksessa, ja pohtia niiden yhteyttä tehtäväsimulaatoradan suoritusaikaan.

## 2 FYSIOLOGISET PERUSTEET

Liikkeen tuottaminen vaatii useiden elinjärjestelmien ja kemiallisten reaktioiden yhteistoimintaa. Hermosto käskyttää lihaksia supistumaan, sekä aistii liikkeen ja energia-aineenvaihdunnan aiheuttamia muutoksia. Hengitys- ja verenkiertoelimistö vastaa hapen, hiilidioksidin, ravintoaineiden ja lämmön kuljetuksesta elimistössä. Energia-aineenvaihdunta riippuu saatavilla olevista energianlähteistä ja hapesta, sekä kuormituksen tehosta. Lihasväsyminen on monimutkainen ilmiö, joka voi johtua tahdonalaisista tai tahdosta riippumattomista tekijöistä.

### 2.1 Hermo-lihasjärjestelmä

Hermosto jaetaan keskus- ja ääreishermostoon. Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin, jotka vievät käskyjä motorisia hermoja (liikehermoja) tai autonomisia hermoja pitkin kehon ääreisosiin ja sisäelimiin. Ääreishermosto sisältää selkäydinhermot ja autonomisen hermoston perifeeriset osat. Sensoriset hermot (tuntohermot) tuovat viestejä ääreishermostosta keskushermostoon. Vieviä hermoja kutsutaan myös efferenteiksi- ja tuovia hermoja afferenteiksi hermosyiksi. (McArdle ym. 2015, 384–388; Avela ym. 2016, 88–92.)



Kuva 1. Hermo-lihasjärjestelmän rakenne (mukailtu McArdle ym. 2007, 396).

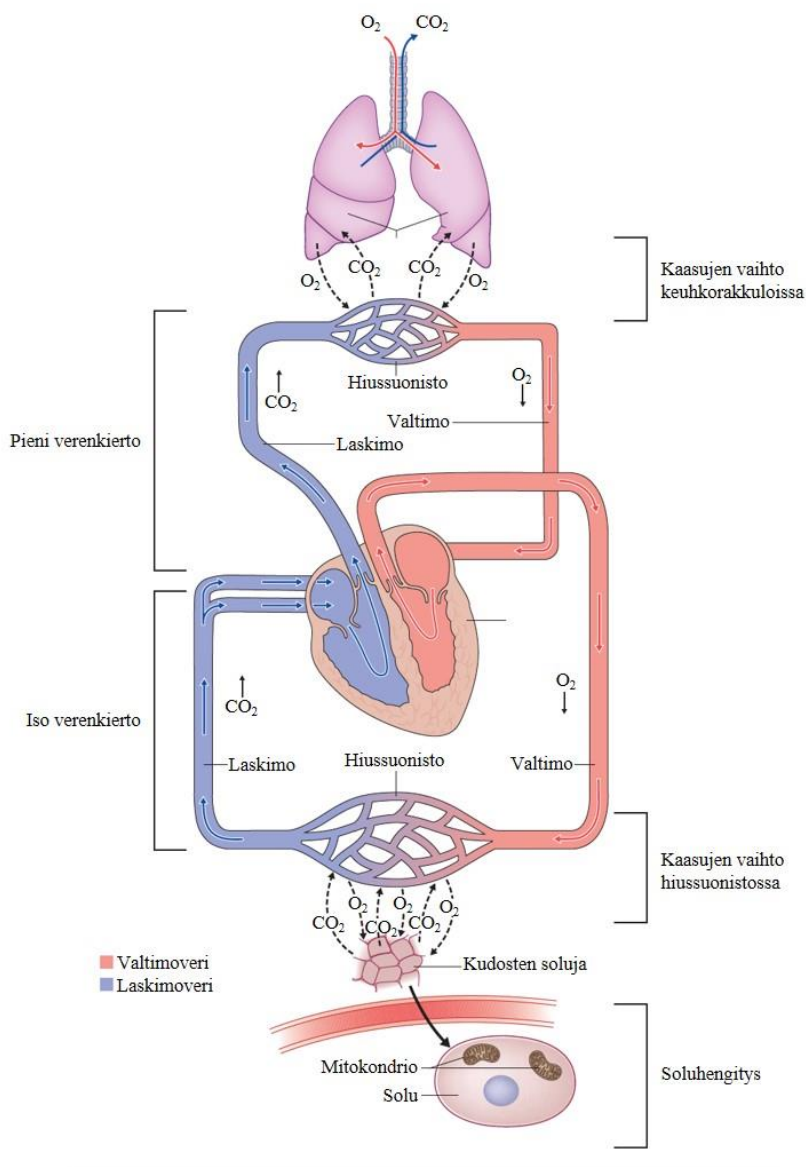
Lihassupistuksen tuottava motorinen liikehermo ( $\alpha$ -motoneuroni) jakautuu useisiin haaroihin, jotka kukin liittyvät hermo-lihasliitoksella yhteen lihassoluun. Hermo-lihasliitos välittää hermoimpulssin (aktiopotentiaali) lihassoluun kemiallisen välittäjäaineen (asetyylikoliini) avulla, joka johtaa lihaksen supistumiseen. Yhden  $\alpha$ -motoneuronin ja kaikkien sen hermottamien lihassolujen kokonaisuutta kutsutaan motoriseksi yksiköksi. Lihaksissa ja jänteissä olevia liikeärsykeitä aistivia sensorisia reseptoreita kutsutaan proprioseptoreiksi, ja ne osallistuvat liikkeen säätelyyn selkäydinrefleksien muodossa. Proprioseptorit aistivat lihaksen pituutta, voimaa ja painetta. Aineenvaihdunnallisia muutoksia lihaksessa aistivat III- ja IV- afferenttien vapaat hermopäätteet, joilla on suuri merkitys lihasväsymyksen aikaisessa hermostollisessa ohjauksessa. (McArdle ym. 2015, 384–388; Avela ym. 2016, 88–92.)

Voimaa ja liikettä tuottavia luurankolihasia ihmisellä on yli 660. Luurankolihas on sidekudoksesta muodostuvien kalvorakenteiden peitossa, jotka yhdessä jänteen kanssa kiinnittyvät luuhun. Lihassolut ovat monitumaisia putkimaisia soluja, joiden supistuminen perustuu sarkomeerien sisältämien proteiinien – aktiini- ja myosiinifilamenttien – liukumiseen toisiinsa nähden lomittain. Filamenttien välille muodostuvien poikittaissiltojen muodostuminen edellyttää kalsium-ioneja, jotka lihakseen saapuva aktiopotentiaali vapauttaa T-tubulus-järjestelmän pitkitäissäikeistä. Aineenvaihduntatuotteiden kasautuminen ja lihaksen happamuuden muutos häiritsevät poikittaissiltojen muodostumista ja aiheuttavat lihasväsymistä. (Avela ym. 2016, 92–93, 110.)

## 2.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistö

Hengityselimistö koostuu keuhkoista, hengitysteistä ja hengityslihaksista. Verenkiertoelimistö on sydämen, veren ja verisuoniston muodostama kokonaisuus. Hengitys- ja verenkiertoelimistön tehtävä on huolehtia hapen ja hiilidioksidin kuljetuksesta sekä kaasujen vaihdosta kudosten ja ulkoilman välillä (kuva 2). Veri kuljettaa myös ravinteita, välittää kemiallisia viestejä sekä kuljettaa pois kuona-aineita ja lämpöä. Ilman hengittämistä sisään ja ulos keuhkoista kutsutaan keuhkotuuletukseksi eli ventilaatioksi. Sisäänhengitys tapahtuu pääasiassa pallealihaksen ja ulompien kylkivälilihasten avulla. Levossa uloshengitys tapahtuu yleensä passiivisesti, mutta sitä voidaan tehostaa sisempien kylkivälilihasten ja vatsan seudun lihasten avulla. (Hynynen 2016, 117–127.) Pieneksi verenkierroksi kutsutaan sydämen ja keuhkojen välillä tapahtuvaa verenkiertoa. Sydämen oikea kammio pumpppaa hiilidioksidipitoista laskimoverta keuhkoihin,

jossa hapen ja hiilidioksidin osapaine-erojen myötä tapahtuu kaasujen vaihto. Hapekas valtimoveri siirtyy sydämen oikeaan kammioon, josta se pumpataan valtimoita pitkin kaikkialle elimistöön (iso verenkierto). Soluissa tapahtuvan soluhengityksen tuotteena on hiilidioksidia, joka poistetaan laskimoita pitkin sydämen vasempaan kammioon. (Plowman & Smith 2011, 323–325.)



Kuva 2. Hengitys- ja verenkiertoelimistön rakenne (mukailtu Plowman & Smith 2011, 324).

Maksimaalinen hapenotto- ja -käyttökyky ( $VO_{2max}$ ) tarkoittaa suurinta määrää happea, mitä elimistö pystyy käyttämään lihastyössä, ja se on keskeisin muuttuja kestävyys- ja suorituskyvyn kannalta. Keuhko- ja keuhkotuuletus ei yleensä ole suorituskykyä rajoittava tekijä. (Hynynen 2016, 117–122.) Kuusi tärkeintä maksimaaliseen hapenotto- ja -käyttökykyyn vaikuttavaa tekijää ovat: liikuntasuorituksen tyyppi,



harjoittelusta, perimä, sukupuoli, ikä sekä kehon massa ja koostumus (McArdle ym. 2015, 238–241.)

## 2.3 Energia-aineenvaihdunta

Ruoasta saatava energia ei kulkeudu suoraan solujen käyttöön, vaan siitä muodostetaan ensin korkeaenergistä yhdistettä, adenosiinitrifosfaattia (ATP), josta elimistön kaikkien biologisten prosessien vaatima energia saadaan. Soluissa on vain pieni määrä ATP:a, joten sitä on jatkuvasti muodostettava lisää. Elimistö varastoi ATP:a vain 80–100 g, mutta uudelleenmuodostuksen myötä inaktiivinen ihminenkin kuluttaa sitä noin 75 % kehonpainosta vuorokaudessa. ATP:n muodostukseen on eri mekanismeja – ilman happea kreatiinifosfaatista (KP) tai anaerobisesta glykolyysistä saatava energia, tai hapen avulla tapahtuva aerobinen energiantuotto. ATP–KP-järjestelmää kutsutaan myös välittömiksi energianlähteiksi. (McArdle ym. 134–140.)

Energiantuottomekanismien suhteellinen osuus kokonaisenergiantuotosta riippuu fyysisen kuormituksen tyypistä. Intensiivisissä suorituksissa, kuten 100 m juoksu, 25 m uinti tai painonnosto, energia saadaan lähes täysin soluihin varastoituneen ATP:n uudelleenmuodostuksesta kreatiinifosfaatin avulla. Lyhytkestoisissa alle kahden minuutin suorituksissa, joissa suoritus-teho on korkea, energia tuotetaan pääasiassa anaerobisen glykolyysin avulla. Maksimaalisessa 2 minuutin suorituksessa 50 % energiasta tuotetaan anaerobisesti, 50 % aerobisesti. Suorituksen keston pidentyessä, aerobisen energiantuoton osuus kasvaa. Esimerkiksi 30 minuutin suorituksessa aerobisen energiantuoton osuus on 95 %. (Bompa & Haff 2009, 21–25; McArdle ym. 2015, 162–169.) Monipuolinen suorituskyyky ja energia-aineenvaihdunnan eri mekanismien tehokkuus on sotilaille tärkeää. Sotilastehtävissä joudutaan usein työskentelemään pitkiä aikoja matalalla tai kohtuutehoisella intensiteetillä, mutta sotilaan täytyy pystyä myös lyhytkestoiseen maksimaalista tehoa vaativaan suoritukseen (Friedl ym. 2015).

Suorituksen keston pidentyessä yli kahden minuutin suurin osa energiasta tuotetaan aerobisesti hiilihydraateista, rasvoista ja proteiinista. Hiilihydraatit ovat tärkein energialähde, sillä rasvojen merkitys lisääntyy vasta suorituksen kestäessä yli kaksi tuntia. Hiilihydraatit (glukoosi) varastoituvat maksaan ja lihaksiin glykokeeniin. Proteiinin merkitys energiantuotossa on merkittävä ainoastaan useita tunteja kestävässä kuormituksessa, jolloin lihasglykokeenin loppuessa proteiinin osuus kokonaisenergiantuotosta voi nousta 12–15 %:iin. Rasva on varastoituneena rasvakudokseen ja lihaksiin triglyserideinä. Triglyseridi koostuu kolmesta rasvahappoketjusta, jotka

ovat liittyneenä yhteen glyserolimolekyyliin. Elimistön hiilihydraattivarastoihin verrattuna rasvavarastot sisältävät noin 50 kertaa enemmän energiaa. Jokaisesta triglyseridistä saadaan tuotettua  $\beta$ -oksidaatiossa noin 12 kertaa enemmän energiaa kuin yhdestä glukoosimolekyylistä. Glukoosista hapen avulla saatava energia tuotetaan sitruunahappokierrossa (Krebsin sykli) ja elektroninsiirtoketjussa. Aerobisen energiantuoton tehokkuutta mitataan maksimaalisella hapenottokyvyllä ( $VO_{2max}$ ), joka kertoo kuinka paljon hengitys- ja verenkiertoelimistö pystyy kuljettamaan happea maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa. (Maughan & Gleeson 2010, 130–139; McArdle ym. 2015, 147–155; Nummela 2016, 128–133.)

Kovatehoisessa kuormituksessa energiantarve ylittää aerobisen energiantuoton kapasiteetin, jolloin osa tarvetta vastaavasta määrästä energiaa on tuotettava ilman happea. Elimistö pystyy tuottamaan energiaa ilman happea lihasten kreatiinifosfaattivarastoista tai hiilihydraattivarastoista anaerobisen glykolyysin kautta. Anaerobinen glykolyysi tuottaa vain noin 5 % siitä energiasta, joka saadaan glukoosin aerobisessa energiantuotossa. Energiantuotonopeus on kuitenkin 2–3-kertainen. Maksimaalisessa suorituksessa energia saadaan ensimmäisten sekuntien aikana välittömistä energianlähteistä (ATP–KP-järjestelmä). Anaerobisen glykolyysin merkitys on suurin kovatehoisessa suorituksessa, jonka kesto on alle kaksi minuuttia.

Anaerobisen glykolyysin lopputuotteena syntyy maitohappoa, joka hajoaa vety- ja laktaattioneiksi. Laktaatin pitoisuus veressä nousee, kun sen tuotto ylittää kapasiteetin, jolla sitä pystytään poistamaan. Tämä tapahtuu, kun veren laktaattipitoisuus ylittää noin 4 mmol/l. Harjoitelleella kestävyysurheilijalla laktaatti voi alkaa nousta vasta 80–90 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä, kun harjoittelemattomalla vastaavasti jo noin 50 %  $VO_{2max}$  teholla (McArdle ym. 2015, 162–163, 292). 1 mmol laktaattia litrassa verta tarkoittaa anaerobisen energiantuoton määrää, joka vastaa noin  $3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  hapenkulutusta (di Prampero & Ferretti 1999). Vetyionit ( $H^+$ ) aiheuttavat lihasten ja veren happamuuden lisääntymistä, mikä aiheuttaa väsymistä ja kivun tunnetta. (McArdle ym. 2015, 162–164; Nummela 2016, 128–133.) Elimistön kyky puskuroida aineenvaihdunnan aiheuttamaa happamuuden lisääntymistä on yksi tärkeimpiä suorituskyyä määrittäviä tekijöitä kovatehoisessa anaerobisessa suorituksessa. (McArdle ym. 2015, 236).

## 2.4 Lihasväsymys ja elektromyografia

Hermo-lihasjärjestelmän väsymys tapahtuu erilaisten mekanismien kautta. *Sentraalinen väsymys* tarkoittaa keskushermoston neuraalisen ohjauksen heikkenemistä, mikä johtaa aktivoituvien motoristen yksiköiden määrän laskuun tai niiden syttymistaajuuden alenemiseen. Sentraalinen väsymys voidaan ajatella tahdonalaisena lihasaktivaation laskuna. Motivoituneilla henkilöillä on havaittu sentraalisen väsymisen olevan vähäisempää kuin ei-motivoituneilla. Sentraalista väsymistä voidaan tutkia antamalla sähköinen tai magneettisen stimulus hermo-lihasliitoksen proksimaaliselle puolelle tai motoriselle aivokuorelle (transkraniaalinen magneettistimulaatio) samalla, kun koehenkilö suorittaa maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen. Stimulusen aiheuttama lihasvoiman kasvu kertoo sentraalisesta väsymisestä, joka johtuu motorisen aivokuoren ja hermo-lihasliitoksen välillä tapahtuvista prosesseista. (Enoka 2008, 317–322.)

Sentraalinen väsymys johtuu refleksitoiminnan heikkenemisen (spinaalinen käskytyks) tai aivojen ohjauksen (supraspinaalinen käskytyks) muutoksista. Spinaalinen käskytyks heikkenee pääasiassa perifeerisen lihasväsymyksen aiheuttamien refleksien kautta (presynaptinen inhibitio). Vapaat hermopäätteet (III- ja IV-afferentit) aistivat aineenvaihdunnallisia muutoksia lihaksessa, jolloin ne inhiboivat Ia-afferentteja tai suoraan  $\alpha$ -motoneuroneja (Enoka 2008, 317–332; Avela ym. 2016, 110–112.) Aivojen neuraalisen ohjauksen (supraspinaalinen) heikkenemiseen vaikuttaa monien hermovälittäjäaineiden, dopamiinin, asetyylikoliinin, ammoniakkin ja sytokiinin määrän muutos (Davis & Bailey 1997). Supraspinaalista väsymistä voidaan ajatella myös suojamekanismina, jolloin aivot eivät käskytä  $\alpha$ -motoneuroneja maksimaalisesti suojataksaan lihasta liialliselta voimalta, metabolisten tuotteiden kasautumiselta ja soluvaurioilta (Gibson ym. 2001).

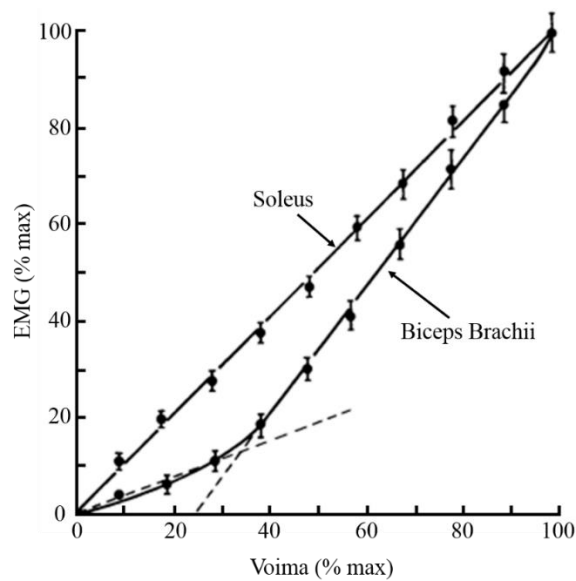
*Perifeerinen väsymys* tapahtuu hermo-lihasliitoksessa tai sen distaalisella puolella. Väsyminen johtuu pääasiassa lihasten energiavarastojen (kreatiinifosfaatti, glykogeeni) vähenemisestä, aktiopotentialin johtumisnopeuden vähenemisestä tai aineenvaihdunnan aiheuttamista muutoksista. Kovatehoinen anaerobinen kuormitus aiheuttaa vetyionien ( $H^+$ ), epäorgaanisen fosfaatin ( $P_i$ ) ja happamuuden lisääntymistä, mitkä aiheuttavat väsymistä ja häiriöitä lihassupistuksessa. Keskeinen mekanismi on aktiini- ja myosiinifilamenttien poikittaissiltojen muodostumisessa tarvittavan kalsiumin ( $Ca^{2+}$ ) vapautumisen inhibitio tai myofibrillien herkkyyden väheneminen saatavilla olevalle kalsiumille. (Enoka 2008, 331; Maughan & Gleeson 2010, 90–91; Avela ym. 2016.) Perifeeristä väsymistä voidaan tutkia antamalla toistuva sähköstimulus perifeeriselle

hermolle. Levossa olevan lihaksen voimantuoton väheneminen kertoo perifeerisestä väsymisestä. (Gibson & Edwards 1985.)

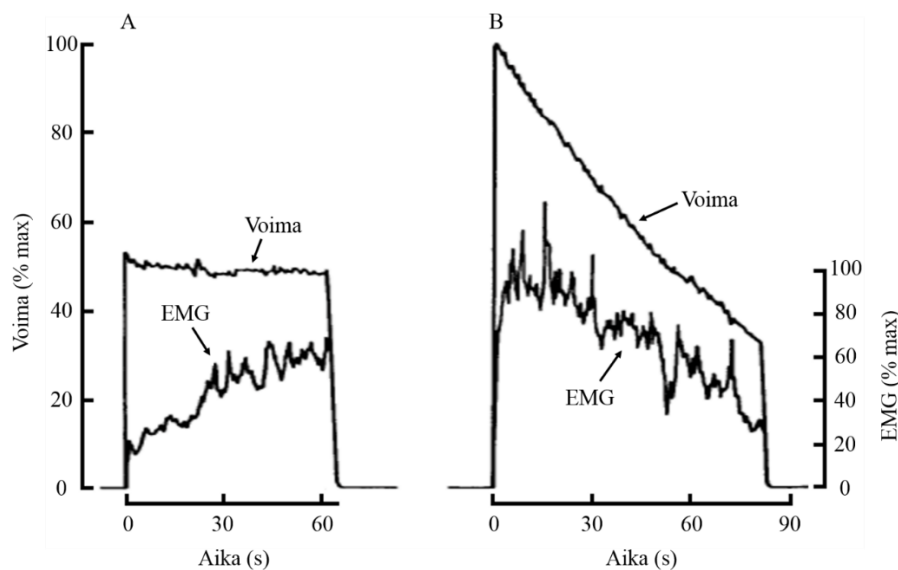
Lihasten sähköistä aktiivisuutta mittaavaa menetelmää kutsutaan *elektromyografiaksi (EMG)*, jota on käytetty esimerkiksi lihasvoiman, eri suoritusten vaatiman lihastyön sekä hermo-lihasjärjestelmän häiriöiden ja adaptaatioiden tutkimuksiin. Voiman tuottamiseksi lihassolujen on supistumista varten saatava hermoimpulssi. Keskushermoston aktivoima liikehermosolu (motoneuroni) välittää sähköisen impulssin lihakseen kiinnittyvään motoriseen päätelevyyn (hermo-lihasliitos). Lihassolukalvolla (sarkolemma) tapahtuu sähköisesti varautuneiden natrium- ( $\text{Na}^+$ ), kalium- ( $\text{K}^+$ ) ja kloridi ( $\text{Cl}^-$ ) -ionien vaihtoa solun sisäisen ja ulkoisen nesteen välillä. Näiden ionien normaali konsentraatio ylläpitää lihaksessa noin  $-90$  millivoltin (mV) lepopotentiaalia. Lihassupistuksen aikana lihassolun sähköinen potentiaali muuttuu ionienvaihdon takia negatiivisesta positiiviseen ja takaisin negatiiviseen. Jännitteen muutos (aktiopotentiaali) etenee solukalvoa pitkin ja antaa supistumiskäskyn koko lihassolun voimaa tuottaville proteiiniirakenteille. Tätä sähköistä aktiivisuutta voidaan mitata EMG-elektrodeilla. (Robertson ym. 2004, 163–165; Enoka 2008, 178–197.)

Lihaksen tuottamalla voimalla ja EMG-signaalilla on vahva yhteys. Voimantuottoon vaikuttavat rekrytoitavien motoristen yksiköiden määrä ja niiden syttymistaajuus. Näiden kahden mekanismin toiminnan suhde ovat erilaisia eri lihaksissa, joten EMG ja EMG/voima -suhde ei ole kaikissa lihaksissa samanlainen. Joissakin lihaksissa uusien motoristen yksiköiden rekrytointi loppuu jo 50 % maksimaalisesta voimasta, kun toisissa rekrytointia tapahtuu lähelle maksimaalisen tahdonalaisen supistuksen tuottamaa voimaa. Isometrisessä lihassupistuksessa EMG/voima -suhde on lähes lineaarinen (kuvio 1), mutta dynaamisessa lihastyössä mitattavaan EMG-signaaliin vaikuttavat useat tekijät. Nivelkulmien muutos aiheuttaa sekä elektrodien liikkumista suhteessa lihakseen että lihassyiden suunnan muutosta, jolloin kudosten johtuvuus muuttuu. Perinteinen EMG-analyysi vaatii tasaisen signaalin, mutta dynaamisessa työssä nopea motoristen yksiköiden rekrytointi ja lihaspituuden muutos aiheuttavat vaikeammin tulkittavan signaalin. Matriisielektrodit, joissa mittaus lihaksesta tapahtuu useilla elektrodeilla, parantavat voiman mittauksen luotettavuutta. Suurikokoiset vaatteisiin istutetut tekstiilielektrodit ovat myös luotettava, validi ja helposti toteutettava tapa EMG:n mittaamiseen kenttäolosuhteissa. (Farina ym. 2004, 97–99; Finni ym. 2007; Enoka 2008, 201–203.)

Lihäsväsymyksessä mitattava EMG riippuu supistuksen tehosta (kuvio 2). Maksimaalisessa tahdonalaisessa lihassupistuksessa pyritään rekrytoimaan kaikki mahdolliset motoriset yksiköt, jolloin EMG ja voima ovat huipussaan, mutta alkavat laskea heti suorituksen alusta alkaen. Submaksimaalisessa lihastyössä pystytään ylläpitämään voimaa, mutta EMG nousee. Tämä johtuu uusien motoristen yksiköiden rekrytoimisesta väsyneiden tilalle. EMG/voima -suhteen kasvua pidetään merkinä perifeerisestä lihäsväsymyksestä. (Bigland-Ritchie 1981.)



Kuvio 1. EMG/voima -suhde (mukailtu Bigland-Ritchie 1981).



Kuvio 2. Voima ja EMG submaksimaalisessa (A) ja maksimaalisessa (B) isometrisessä supistuksessa (mukailtu Bigland-Ritchie 1981).

### 3 SOTILASTEHTÄVIEN FYYSISET VAATIMUKSET

Sotilailta vaadittavat fyysiset ominaisuudet riippuvat puolustushaarasta, aselajista ja tehtävästä (Kraemer ym. 2017, 506). Tässä tutkimuksessa sotilaalla pääasiassa tarkoitetaan kentällä taisteluvälinevarustuksessa raskasta fyysistä työtä tekevää henkilöä. Sotilastehtävillä tarkoitetaan esimerkiksi jalkaväen, tykistön ja pioneerien tehtäviä, sekä vastaavia korkeaa fyysistä toimintakykyä vaativia tehtäviä. Lähes kaikissa sotilastehtävissä on kuitenkin samankaltaisia vaatimuksia – jokaisen on pystyttävä haavoittuneen evakuointiin, raskaan materiaalin käsittelyyn ja taisteluvälinevarustuksessa liikkumiseen sekä taisteleamiseen.

Puolustusvoimien tavoitteena on, että kaikkien puolustushaarojen ja aselajien esikuntatehtävissä palvelevien sotilaiden maksimaalinen hapenottokyky on vähintään  $42 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , mikä vastaa noin 2 300 metrin tulosta 12 minuutin juoksupuotestissa. Tukitehtävissä toimivien sotilaiden tavoitteena on  $45 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (2 600 m), liikkuvaan sodankäyntiin erikoistuvien sotilaiden  $50 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (2 800 m) ja erikoisjoukkoihin sijoitettavien sotilaiden  $55 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (yli 3 000 m). Lihaskunnon tason on oltava riittävä säilyttämään toimintakyky vähintään 25 kilogramman painoisen lisäkuorman kanssa. (Pääesikunta, henkilöstöosasto 2011.)

Vuonna 2013 National Strength and Conditioning Association's (NSCA's) second Blue Ribbon Panel on Military Physical Readiness: Military Physical Performance Testing määritteli lihasvoiman olevan sotilaan toimintakyvyn kannalta tärkein ominaisuus (taulukko 1). Paneeli pisteytti sotilaalle tyypilliset liikesuoritukset siten, missä suhteessa fyysisen toimintakyvyn eri osa-alueita suorituksissa tarvitaan. Suoritukset olivat: esteen yli hyppääminen, ketteryys, raskaan taakan kantaminen, raskaan taakan vetäminen, pitkäkestoinen juokseminen, lyhyt sprintti, esteiden yli kiipeäminen, raskaiden esineiden nostaminen ja varusteiden lastaaminen. Paneeli koostui 20 asiantuntijasta, jotka tulivat Yhdysvaltain ilmavoimista, maavoimista, merijalkaväestä ja laivastosta. Mukana oli myös akatemiätutkijoita, operaattoreita ja poliittisia asiantuntijoita. Maksimi- ja nopeusvoima sekä lihaskestävyys saavuttivat korkeimmat pisteet. (Nindl ym. 2015.)

*Taulukko 1. Asiantuntijapaneelin arvio eri sotilastehtävissä vaadittavista fyysisistä ominaisuuksista (mukailtu Nindl ym. 2015).*

	Maksimivoima	Nopeusvoima	Lihkestävyys	Kehon koostumus	Koordinaatio	Tasapaino	Ketteryys	Liikkuvuus	Aerobinen kunto	Nopeus	Reaktioaika
Esteen yli hyppääminen	<b>7.5</b>	<b>9.0</b>	4.0	6.4	6.9	5.7	6.5	5.9	2.6	5.7	4.0
Ketteryys	4.7	5.4	5.5	5.8	<b>9.5</b>	<b>8.4</b>	<b>9.8</b>	6.1	4.1	6.5	6.6
Raskaan taakan kanto	<b>8.8</b>	6.2	<b>7.5</b>	5.2	3.7	5.0	2.9	3.3	5.5	2.2	1.6
Raskaan taakan veto	<b>9.2</b>	<b>7.4</b>	<b>7.4</b>	5.2	4.5	4.8	3.3	3.8	5.2	2.7	1.6
Pitkäkestoinen juoksu	3.8	3.1	6.9	6.9	3.2	3.2	3.0	3.2	<b>9.9</b>	4.0	1.4
Lyhyt sprintti	6.0	<b>7.8</b>	5.0	6.2	7.0	6.4	<b>7.8</b>	4.4	4.0	9.3	6.0
Esteen yli kiipeäminen	<b>8.3</b>	6.5	5.7	6.7	7.0	6.1	6.0	5.9	3.9	4.1	2.2
Raskaan esineen nosto	<b>9.7</b>	<b>7.7</b>	5.4	5.5	4.8	5.1	2.7	5.0	3.0	2.3	1.6
Materiaalin lastaaminen	<b>7.7</b>	6.0	6.3	5.0	5.7	5.3	3.4	4.9	3.6	2.6	2.2
Keskiarvo	<b>7.3</b>	6.6	6.0	5.9	5.8	5.5	5.0	4.7	4.6	4.4	3.0

### 3.1 Kuormittuminen taistelukentällä

Viimeisimmät sodat ovat osoittaneet taistelukentän asettavan entistä kovempia vaatimuksia sotilaan fyysiselle toimintakyvylle. Nykyaikainen sodankäynti edellyttää sotilaalta hyvin kehittyneitä voima- ja kestävyysominaisuuksia vastaamaan taistelukentän vaatimuksia, kuten raskaan taakan kantamista, toistuvaa nostamista, esteiden ylittämistä, nopeaa liikkumista taisteluvartuksessa ja etenemistä vaikeassa maastossa. Lisäksi ympäristötekijät, kuten kuumuus ja kylmyys, aiheuttavat kuormittumista. Sotilasoperaatiot aiheuttavat usein myös tuki- ja liikuntaelimestön vammoja, iskuista aiheutuneita aivovaurioita, post-traumaattisia stressihäiriöitä ja fyysisen toimintakyvyn sekä kehon koostumuksen muutoksia. (Kraemer & Szivak 2012; Nindl ym. 2013; Friedl ym. 2015.)

Kyvyttömyys vastata taistelukentän vaatimuksiin voi johtaa krooniseen elimistön stressitilaan, jolloin fyysinen toimintakyky laskee sekä loukkaantumis- ja sairastumisriski kasvaa (Henning ym. 2011; Silverman & Deuster 2014). Pitkittyneessä fyysisessä aktiivisuudessa nämä riskit

lisääntyvät muiden stressitekijöiden, kuten liiallisen kestävyysharjoittelun, riittämättömän palautumisen, operaation vaativan luonteen, psyykkisen stressin, vähäisen unen ja riittämättömän energiansaannin seurauksena (Brooks & Carter 2013). Krooninen stressi on yhteydessä ylipainoon ja sen oheissairauksiin, kuten metaboliseen oireyhtymään, insuliiniresistenssiin ja korkeaan verenpaineeseen. Stressillä on myös epäsuotuisia vaikutuksia muistiin ja kognitiiviseen toimintaan. (Tsatsoulis & Fountoulakis 2006; Silverman & Deuster 2014.) Fyysinen toimintakyky on yhteydessä psyykkiseen toimintakykyyn, ja nämä yhdessä lisäävät sietokykyä kohdata taistelusta aiheutuvaa stressiä. Sietokyky tarkoittaa valmiutta kestää vastoinkäymisiä ja olosuhteiden muutoksia, palautua rasituksesta sekä kasvaa ja oppia takaiskuista. (Tsatsoulis & Fountoulakis 2006; Flanagan ym. 2012; Silverman & Deuster 2014.)

### 3.2 Taisteluvärustus

Aiemmin sotilaat joutuivat usein kävelemään pitkiä matkoja värusteidensa kanssa, mutta nykypäivän sodissa harvoin vaaditaan pitkiä siirtymiä (yli 24 km) raskaan taakan kanssa (Friedl ym. 2015). Sotilaan kantaman värustuksen paino on kuitenkin jatkuvasti lisääntynyt. 1950-luvulla taisteluvärustuksen paino oli noin 30 kg, nykypäivänä Yhdysvaltain asevoimien sotilas kantaa keskimäärin 45,5 kg. (Seay 2015.) Persianlahden sodassa kannettava paino on ollut jopa 55 kg (Knapik ym. 2004). Yhdysvaltalaisien sotilaiden loukkaantumiset ovat lisääntyneet jopa seitsenkertaisesti vuosien 1981–2005 aikana, valtaosa niistä on johtunut tuki- ja liikuntaelinvammoista (Bell ym. 2008). Tuki- ja liikuntaelinvammat ovat jalkarakkojen ohella yleisin seuraus raskaan taakan kantamisesta (Knapik ym. 2004).

Suomalaisen sotilaan taisteluvärustuksen paino on noin 30 kg. Kokon (2008) mukaan kaupunkijääkäriin taisteluvärustuksen paino on 30,3 kg. Terho (2015) tutki raskaan taakan kantamisen fysiologisia vasteita pitkäkestoisessa kuormituksessa. Tutkimuksessa käytetty värustus oli Porin prikaatin mekanisoidun jääkäripataljoonan tiedustelujoukkueen värustus, jonka taisteluvärustus painaa 29,5 kg, partiovärustuksen kokonaispaino on 45 kg.

Raskaan taakan kantaminen aiheuttaa riskin sotilaille. Liiallisen painon tiedetään aiheuttavan vammoja tuki- ja liikuntaelimestölle, hermostolle ja iholle. (Knapik ym. 2004; Orr ym. 2014; Orr ym. 2015.) Taisteluvärustus lisää merkittävästi hapenkulutusta ja lämpökuormitusta (Larsen ym. 2011). Myös liikkuvuus ja yleinen toimintakyky laskevat (Knapik ym. 1991; Orr ym. 2013). Raskas taisteluvärustus myös heikentää sotilaan tarkkuutta ampumisessa (Jaworski ym.



2015) ja lisää todennäköisyyttä tulla ammutuksi taistelussa hitaamman suojaan liikkumisen taakia, joka vaikuttaa koko ryhmän tehtävästä suoriutumiseen (Orr ym. 2011; Billing ym. 2015).

Raskaan taakan kantamisessa on etua suuremmasta kehon rasvattomasta massasta ja korkeasta maksimaalisesta hapenottokyvystä (Bilzon ym. 2001; Lyons ym. 2005). Knapikin ym. (2012) mukaan voimaharjoittelun yhdistäminen sotilaskoulutukseen on paras keino parantaa sotilaiden suorituskyyä raskaan taakan kantamisessa.

### 3.3 Aerobinen suorituskyy

Monet sotilastehtävät vaativat pitkäkestoista keskiraskasta työskentelyä, kuten jalkamarssi, rakennus- ja linnoitustyö, materiaalin käsittely, haavoittuneen evakuointi ja kaluston naamiointi. Sotilaat, joilla on korkeampi maksimaalinen hapenottokyky, pystyvät suorittamaan näitä tehtäviä pidempään, tuntevat uupumusta hitaammin, palautuvat nopeammin ja ovat paremmassa valmiudessa seuraaviin tehtäviin (Jones & Carter 2000; Friedl ym. 2015). Korkea aerobinen suorituskyy on lisäksi yhteydessä pienempään loukkaantumisriskiin sotilailla (Knapik ym. 2001).

Pihlainen ym. (2014) tutkivat hengitys- ja verenkiertoelimistön fysiologisia vasteita neljässä eri sotilastehtävässä. Tehtävät olivat: marssi ilman lisäkuormaa (5,4 kg), marssi taisteluvärustuksessa (24,4 kg), kenttätykin asemaanjä ja poteron kaivaminen. Hapenkulutus ( $VO_2$ ) mitattiin kannettavilla hengityskaasuanalysointilaitteilla. Korkein hapenkulutus saavutettiin poteron kaivamisessa ( $24,3 \pm 5,1 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), matalin tykin asemaanjässä ( $18,0 \pm 3,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Suhteutettuna maksimaaliseen hapenottokyyyn ( $VO_{2\text{max}}$ ), poteron kaivuu vaati  $51 \pm 9 \%$   $VO_{2\text{max}}$ , tykin asemaanjä  $37 \pm 6 \%$   $VO_{2\text{max}}$ . Tehtävien keskimääräinen intensiteetti oli lähellä  $50 \%$   $VO_{2\text{max}}$ , joka on suurin suositeltu pitkäkestoisen työn suorittamisen teho (Epstein ym. 1988).

Liiallinen kestävyysjärjoittelu ja vähäinen voimaharjoittelu voi johtaa ylikuormitustilaan (Brooks & Carter 2013). Tyypillinen seuraus kroonisesta raskaasta kestävyysjärjoittelusta on alentunut testosteronitaso, joka voi miehillä johtaa voiman heikkenemiseen, lihas- ja luumassan vähenemiseen ja suorituskyyyn laskuun (Arver & Lehtihet 2009; Kraemer ym. 2008). Korkea aerobinen suorituskyy on yhteydessä nopeampaan palautumiseen lyhytkestoisten kovatehoisten suoritusten jälkeen. Korkea aerobinen suorituskyy vähentää anaerobista energiantuottoa raskaassa kuormituksessa, joten hapen avulla tuotetun energian suhteellinen osuus on suurempi.

Tämä johtuu esimerkiksi aerobisen energiantuoton nopeammasta käynnistymisestä, parantuneesta veren virtauksesta ja anaerobisen glykolyysin tuottaman laktaatin tehokkaammasta poistosta. (Tomlin & Wenger 2001.)

### 3.4 Lihasvoima ja anaerobinen suorituskyky

Lihasvoimaa vaaditaan useissa sotilastehtävissä, kuten raskaan taakan kantaminen, nostaminen, ja kaivaminen (Jaenen 2009). Kraemer ja Szivak (2012) kutsuvat modernin taistelijan kohtaamaa nykyaikaista toimintaympäristöä ”anaerobiseksi taistelukentäksi”, jossa lihasvoima ja anaerobinen suorituskyky ovat tärkeämpiä kuin aerobinen kunto. Sotilaan on pystyttävä suoriutumaan kovatehoisista sprinteistä, ryömimisestä, kiipeämisestä, nostamisesta, vetämisestä ja kantamisesta, jotka vaativat voimaa ja anaerobista tehoa (Friedl ym. 2015; Kraemer ym. 2017, 506).

Pääasiassa kestävyysharjoittelua tehneiden sotilaiden toimintakyky on riittämätön, kun taistelussa on suoritettava vaativia anaerobisia suorituksia, kuten nopeaa liikkumista raskaassa varustuksessa tai haavoittuneen evakuointia (Szivak & Kraemer 2015). Taisteluvälineistö heikentää merkittävästi sotilaan suoriutumista anaerobisista tehtävistä etenkin naisilla, jonka takia fyysisen harjoittelun tulisi enemmän keskittyä tehtäväkohtaisiin erityisvaatimuksiin. (Treloar & Billing 2011).

Keskivartalon ja alaraajojen lihasvoimalla on yhteys parempaan suorituskykyyn raskaan taakan kantamisessa (Roy ym. 2010; Santtila ym. 2010; Fallowfield ym. 2012). Royn ym. (2012) mukaan taakan kantamisen aiheuttamat loukkaantumiset Afganistanissa ovat yhteydessä sotilaiden riittämättömään lihasvoimaan. Wunderlinin ym. (2015) mukaan heikko keskivartalon voima on yhteydessä korkeampaan loukkaantumisriskiin sveitsiläisillä alokkeilla.

Sotilaalta vaaditaan usein erilaisia materiaalin käsittelytehtäviä, joiden tehokas suorittaminen vaatii runsaasti lihasvoimaa (Williams ym. 2002; Sharp ym. 2006). Henkilöt, joilla on riittämätön fyysinen toimintakyky suoriutua materiaalin käsittelystä, ovat suuremmassa riskissä loukkaantumiseen (Harbin & Olsen 2005; Rosenblum & Shankar 2006). Carstairsin ym. (2016) mukaan asevoimien yleisesti käyttämät kuntotestit, kuten leuanveto ja punnerrukset, ovat huonoja ennustamaan menestymistä materiaalin käsittelytehtävissä. Tehtäväsimulaatiotesti – tässä

tapauksessa laatikon nosto – on parempi tapa arvioida suorituskkyä tämän tyyppisissä sotilas-tehtävissä.

Voimaharjoittelu on tehokas keino lisätä sotilaan fyysistä toimintakykyä ja sietokykyä stressille (Kraemer & Szivak 2012; Nindl ym. 2013). Voimaharjoittelu ei ainoastaan lisää voimaa, vaan parantaa myös kehon koostumusta ja vahvistaa jänteitä, niveliä ja luustoa (Silverman & Deuster 2014).

## 4 KUNTOTESTAUS

Kuntotestauksen tarkoitus asevoimissa on mitata ja arvioida sotilaiden fyysistä toimintakykyä, terveydentilaa sekä kykyä tehdä sotilastyössä vaadittavia suorituksia. Useimmat länsimaat käyttävät perinteisiä kuntotestejä, kuten juoksu, etunojapunnerrus, istumaannousu ja kehon painoindeksi (BMI), mitatessaan sotilaan fyysistä toimintakykyä. Nämä testit mittaavat hyvin yleiskuntoa, mutta eivät välttämättä ennusta menestymistä sotilastehtävissä (Harman & Frykman 1992; Teplitzky 1992; Batchelor 2008.) Monien länsimaisten asevoimien kuntotestit eivät mittaa tarpeeksi laajasti fyysisen kunnan eri osa-alueita, kuten anaerobista tehoa, mikä on tärkeää esimerkiksi lyhyessä sprintissä, portaiden kiipeämisessä tai haavoittuneen evakuoinnissa (Hoffman ym. 2015).

### 4.1. Puolustusvoimien kuntotestaus

Puolustusvoimien kuntotestauksen tavoitteena on yhdessä terveystarkastusten kanssa tuottaa testattavalle tietoa hänen terveydentilastaan, fyysisestä kunnosta ja kehityksen suunnasta. Seurannan avulla voidaan ennaltaehkäistä työkyvyttömyyden uhkaa. Hyväkuntoisilla ja liikunnallisesti aktiivisilla työntekijöillä on myös keskimäärin vähemmän sairauspoissaoloja (Kyröläinen ym. 2008). Ammattisotilaan on lakisääteisesti ylläpidettävä työtehtäviensä ja sodanajan sijoituksensa edellyttämää fyysistä toimintakykyä (Laki puolustusvoimista 2007/551 § 43). Jokaisen palveluskelpoisuusluokkaan A kuuluvan alle 50-vuotiaan ammattisotilaan on osallistuttava vuosittain kestävyys- ja lihaskuntotestiin. Kestävyyttä arvioidaan 12 minuutin juoksutestillä tai epäsuoralla maksimaalisella polkupyöräergometritestillä. 12 minuutin juoksutesti on pakollinen alle 40-vuotiaille sotilaille, varusmiehille ja kaikille sotilaallisiin kriisinhallinta- tai sotilastarkkailijatehtäviin hakeutuville henkilöille. Siviileillä kestävyys arvioidaan ensisijaisesti submaksimaalisella polkupyöräergometritestillä, jonka myös alle 40-vuotiaat sotilaat voivat suorittaa lääkärin määräyksestä. Kuntoliikuntaa säännöllisesti harrastaneet siviilihenkilöt voivat halutessaan osallistua juoksutestiin. Vähän tai ei lainkaan liikuntaa harrastavien siviilien kestävyystestinä voidaan käyttää myös UKK-kävelytestiä. Puolustusvoimien lihaskuntotesti sisältää alaraajojen nopeusvoimaa mittaavan vauhdittoman pituushypyn, vatsalihasten ja lonkan koukistajien lihaskestävyyttä mittaavan istumaannousun sekä ylävartalon lihasten lihaskestävyyttä mittaavan etunojapunnerruksen. Kehon koostumuksen mittaukset sisältävät pituuden, painon ja vyötärönympäryksen mittaukset. Pituuden ja painon perusteella lasketaan kehon

painoindeksi (BMI). Ammattisotilas on velvollinen toteuttamaan henkilökohtaisen harjoitusohjelman, jos fyysinen toimintakyky ei vastaa hänen tehtävänsä asettamia vaatimuksia. (Pihlainen ym. 2011; Pääesikunta, henkilöstöosasto 2011.)

#### 4.2. Kuntotestaus eri maiden asevoimissa

Kaikkien asevoimien kuntotestauksesta ei ole tarkkaa tietoa saatavilla. Lisäksi kuntotestit ja minimistandardit ovat yleensä erilaisia puolustushaarojen ja aselajien välillä, sekä hakeuduttaessa vaativampiin tehtäviin kuten laskuvarjo-, sukeltaja- tai erikoisjoukkokoulutus. Selkeyden vuoksi alla esitetyt tiedot kuntotesteistä maittäin koskevat pääosaa kyseisen maan sotilaista. Erityisen mielenkiintoisia testejä ja tiedossa olevia kehitys- ja tutkimusprojekteja on esitetty tarkemmin.

*Australian puolustusvoimat (Australian Defence Force, ADF)* testaa rekrytointivaiheessa hakijoita etunojapunnerrus-, istumaannousu-, ja sukkulajuoksutestillä. Suoritusasovaatimukset riippuvat puolustushaarasta. Kehon painoindeksi saa olla korkeintaan 32,9 (lentäjillä 29,9). Painoindeksillä on myös vähimmäisvaatimus (18,5), sillä vammautumisriskiä pidetään suurempana indeksin ollessa alhaisempi. Palveluksessa olevat sotilaat suorittavat 6 kuukauden välein etunojapunnerrus-, istumaannousu- ja 2,4 km juoksutestin. Testien minimistandardit on luokiteltu sukupuolen ja iän mukaan. Yli 41-vuotiailla on mahdollisuus korvata juoksu 5 km kävelytestillä. Laivastossa on lisäksi käytössä kaksi erilaista uimataitotestiä. (Australian Defence Force 2017.) ADF on kehittänyt uusia kuntotestejä, jotka mittaavat paremmin sotilaiden fyysisistä toimintakykyä. Lihasvoimaa ja -kestävyyttä vaativan manuaalisen materiaalinkäsittelyn on katsottu olevan yleinen operatiiviseen suorituskyykyyn vaikuttava tehtävä. Carstairs ym. (2016) tutkivat laatikonnostotestin soveltuvuutta arvioimaan kykyä suoriutua tehokkaasti materiaalin käsittelytehtävissä. Testissä nostettiin laatikko ( $0,35 \times 0,35 \times 0,35$  m) 1,5 metriä korkealle tasolle. Laatikon paino oli alussa 15 kg, ja nousi 5 kg jokaisen noston jälkeen. Laatikonnostotesti korreloi hyvin neljän eri sotilastehtävän, kaluston lastaamisen, kenttätykin lataamisen, M1 taistelupanssarivaunun ammusten täytön ja sillan rakentamisen kanssa. Tutkimusryhmän mukaan testi soveltuu hyvin arvioimaan sotilaiden manuaalista materiaalinkäsittelykykyä.

*Kanadan puolustusvoimat (Canadian Forces)* on askeleen edellä sotilaiden kuntotestauksessa. Vuonna 2013 otettiin käyttöön uusi kuntotesti nimeltään FORCE (Fitness for Operational Re-

quirements of Canadian Armed Forces Employment). Kerran vuodessa tehtävän testin minimistandardit ovat iästä riippumattomat ja samat molemmille sukupuolille. Testin kehittämistä varten määritettiin kuusi vaativaa tehtävää, joista kaikkien sotilaiden on kyettävä suoriutumaan: linnoittamistyö hiekkasäkeillä, taakan kantaminen, haavoittuneen evakuointi ajoneuvosta, suojaan syöksyminen, kaivaminen ja rakentaminen sekä paarien kantaminen. Tehtävissä suoriutumisen arvioimista varten kehitettiin ja validoitiin neljä yksinkertaisempaa testiä: 20 kg hiekkasäkkien nosto 99 cm korkeudelle, sukkulajuoksu 20 kg hiekkasäkin kanssa, hiekkasäkkien raahaaminen (yhteispaino 100 kg) ja sukkulajuoksu ilman lisäkuormaa. (Gagnon ym. 2015.)

*Norjan puolustusvoimat (Forsvaret)* otti vuonna 2017 käyttöön uudet kuntotestit – 3 000 m juoksu, 10 kg kuntopallon heitto, vauhditon pituushyppy ja käsinkohonta. 3 000 m juoksun vaihtoehtona on sukkulajuoksutesti, jos juoksutestiä ei voida järjestää huonojen olosuhteiden takia. Kaikki sotilaat (varusmiehet ja kantahenkilökunta) suorittavat nämä testit. Lisäksi kantahenkilökunta suorittaa koulutukseen hakemisen yhteydessä 200 m uimatestin ilman aikarajaa. Varusmiehille kuntotestien minimistandardeja on ainoastaan erikoiskoulutukseen hakeuduttaessa. Kantahenkilökunnalle vaatimukset riippuvat sukupuolesta. (Forsvaret 2017.)

*Tanskan puolustusvoimat (Forsvaret)* testaa monipuolisesti sotilaiden fyysistä toimintakykyä. Käytössä on kaksi erillistä testipatteria – keskivartalon voimaa mittaava testi (Core Test) sekä aerobista- ja anaerobista suorituskkyä sekä lihasvoimaa mittaava testi (The Danish Armed Forces Physical Test). Core Test sisältää neljä erilaista staattista keskivartalon pitoliikettä ja askelkyykkytestin 20 kg lisäpainon kanssa. The Danish Armed Forces Physical Test sisältää kaksi erilaista aerobista ja kaksi erilaista anaerobista testiä, sekä lihasvoimatestin. Suorittaja saa valita sekä aerobisen että anaerobisten testien kahdesta vaihtoehdoista toisen. Aerobiset testit ovat 12 minuutin juoksutesti ja 20 metrin sukkulajuoksutesti. Anaerobiset testit ovat kaksi erilaista sukkulajuoksutestiä. Lihasvoimatestissä suoritetaan viisi liikettä, joissa käytetään kehonpainon lisäksi lisäpainoa: askelkyykky (10–50 kg), dippipunnerrus (0 tai 10 kg), käsinkohonta (0 tai 10 kg), maastaveto (40–100 kg) ja lankkupito (0–20 kg). (Malmberg 2011.)

*Yhdysvaltain asevoimat (United States Armed Forces)* jakautuu viiteen puolustushaaraan: maavoimat, laivasto, ilmavoimat, merijalkaväki ja rannikkovartiosto. Puolustushaarojen kuntotestit poikkeavat toisistaan hieman. Maavoimat käyttää perinteistä kuntotestiä nimeltään Army Physical Fitness Test (APFT), joka sisältää kolme suoritusta: etunojapunnerrus (2 min), istumaannousu (2 min) ja 2 mailin (3,2 km) juoksu. Ilmavoimien ja rannikkovartioston testi on lähes

sama, mutta etunojapunnerruksen ja istumaannousun suorituksissa aikaraja on yksi minuutti, ja juokсутestin pituus on 1,5 mailia (2,4 km). Ilmavoimissa mitataan myös vyötärönympärys. Lisäksi rannikkovartiostossa on liikkuvuus- ja uimatestit. Laivaston kuntotestissä suoritetaan etunojapunnerrus (2 min), käsinkohonta (2 min) ja 1,5 mailin (2,4 km) juoksu. Peruskoulutuksen jälkeen on mahdollisuus korvata juokсутesti uinnilla. (Military Advantage 2017.)

*Yhdysvaltain merijalkaväen (United States Marine Corps)* kuntotestit ovat vaativampia. Normaalissa kuntotestissä (Physical Fitness Test, PFT) on käsinkohonta, istumaannousu ja 3 mailin (4,8 km) juoksu. Naiset voivat käsinkohonnan sijaan suorittaa testin, jossa roikutaan tangossa koukistetuin käsin (flexed arm hang). Vuodesta 2016 sekä miehillä että naisilla on ollut mahdollisuus tehdä käsinkohonnan sijaan etunojapunnerrustesti. Merijalkaväen sotilaan on läpäistävä myös vaativa kuntotesti nimeltään Combat Fitness Test (CFT). Testissä on kolme maastopuvussa tehtävää suoritusta: 880 jaardin (805 m) sprinttijuoksu, 30 paunan (13,6 kg) ammuslaatikon nosto ja tässä tutkimuksessa käytetyn tehtäväsimulaattorin kaltainen testi (maneuver under fire). Ammuslaatikon nostotestissä pidetään laatikkoa vartalon etupuolella, ja nostetaan sitä seisten 2 minuutin ajan toistuvasti pään päälle pystypunnerrusta muistuttavalla liikkeellä. Maneuver under fire -testissä suoritetaan 300 jaardin (274 m) rata, joka sisältää juoksua, ryömintää, haavoittuneen evakuointia raahaamalla sekä kantamalla, ammuslaatikoiden kantamista, käsikranaatin heiton ja etunojapunnerruksia. Suoritettuaan hyväksytysti PFT:n ja CFT:n, merijalkaväen sotilas testataan lopuksi tehtäväkohtaisilla kuntotesteillä. Testit mittaavat tulevaisuustyötehtävissä vaadittavia todellisia suorituksia, kuten tykistön ammusten kantamista, haavoittuneen evakuointia tai raskaiden asejärjestelmien käsittelyä. Testit ovat iästä ja sukupuolesta riippumattomat – vain suorituskyky ratkaisee. (Military Advantage 2017; Gibbons-Neff 2016.)

*Yhdysvaltain maavoimien (United States Army)* kuntotestin (APFT) on pitkään tiedetty ennustavan huonosti fyysistä toimintakykyä sotilaiden todellisissa tehtävissä (Harman & Frykman 1992; Teplitzky 1992; Batchelor 2008). Maavoimat alkoi 2010-luvun alussa kehittää uutta tehtäväsimulaattorin kaltaista kuntotestiä nimeltään Army Combat Readiness Test (ACRT), jossa mitataan sotilaalta vaadittavia suorituksia taisteluvälinevarustuksessa. (Spiering ym. 2012). Kehitystyöstä huolimatta uutta testiä ei ole otettu käyttöön. Tammikuussa 2017 U.S. Army Center for Initial Military Training (USACIMT) otti käyttöön uuden kuntotestin nimeltään Occupational Physical Assessment Test (OPAT). USACIMT:n tehtävä on järjestää kaikkien maavoimien sotilaiden peruskoulutus. OPAT:n tarkoitus on rekrytointivaiheessa arvioida hakijan kykyä suoriutua vaativimmista sotilastehtävistä ja valita oikea henkilö oikeaan tehtävään. OPAT

myös karsii hakijat, joiden fyysinen toimintakyky ei ole riittävä aloittamaan koulutusta. (Foulis ym. 2015; Vergun 2017.)

OPAT on usean vuoden tutkimus- ja kehitystyön tulos, josta vastasi US Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM). Työn tarkoitus oli löytää testit, jotka ovat helpoja ja nopeita järjestää sekä ennen kaikkea ennustavat menestymistä vaativissa sotilastehtävissä. Tutkimustyön tuloksena, testiin päätettiin sisällyttää neljä suoritusta: alaraajojen nopeusvoimaa mittaava vauhditon pituushyppy (standing long jump), yläraajojen nopeusvoimaa mittaava kuntopallon heitto istuen (seated power throw), alaraajojen maksimivoimaa mittaava maastaveto (strength deadlift) ja aerobista kestävyyttä mittaava sukkulajuoksutesti (aerobic interval run). OPAT ei erittele suorittajan sukupuolta, ikää tai kehonpainoa, vaan tulosten avulla arvioidaan hakijan todellista kykyä suoriutua eri aselajien ja tehtävien asettamista vaatimuksista. (Foulis ym. 2015; Roussel 2017.)



## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen aineisto on osa laajempaa Kriisinhallintajoukkojen toimintakykytutkimusta (KRITOKY), joka toteutettiin kuuden kuukauden kansainvälisen operaation aikana Libanonissa. KRITOKY-tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, millaisia muutoksia sotilaiden toimintakyvyssä ja terveydentilassa tapahtuu. Tutkimukseen osallistui 112 sotilasta, mutta osallistumisaktiivisuus vaihteli mittauksittain. Sotilaiden kestävyyskunto säilyi keskimäärin lähtötilanteen tasolla, mutta sotilaan lajinomaista fyysistä toimintakykyä arvioivan tehtäväsimulaattorin tulokset paranivat kaikissa mittausvaiheissa. Myös jalkojen maksimivoima ja koko kehon lihaskestävyys paranivat. (Pihlainen ym. 2015.)

KRITOKY-tutkimuksen ensimmäisessä osaraportissa raportoitiin toimintakyvyssä ja terveydentilassa tapahtuneet muutokset, kuormittuminen sekä ravintokäyttäytyminen. Tehtäväsimulaattorin osalta raportoitiin fyysisen toimintakyvyn ja kehon koostumuksen yhteydet suoritusajaan. Tuloksia tarkasteltiin yksittäisten mittausten korrelaatioina. Fyysisen toimintakyvyn tekijöistä olivat voimakkaimmin yhteydessä alaraajojen räjähtävä voimantuotto, dynaaminen lihaskestävyys sekä aerobinen kunto. Tehtäväsimulaattorin suorittamisessa oli myös etua suuremmasta lihasmassasta ja alhaisemmasta rasvaprosentista. (Pihlainen ym. 2015.)

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutokset ovat yhteydessä tehtäväsimulaattorin ajan muutokseen. Toisena tavoitteena oli selvittää, minkälaisia vasteita radan suorittaminen aiheuttaa alaraajojen lihasaktiivisuudessa, veren laktaatissa sekä kuormitustuntemuksessa, ja pohtia niiden yhteyttä tehtäväsimulaattorin suoritusajaan.

Tutkimusongelmat:

1. Miten kuuden kuukauden tutkimusjakson aikana tapahtuneet kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutokset ovat yhteydessä tehtäväsimulaattorin suoritusajan muutokseen?
2. Minkälaisia alaraajojen lihasaktiivisuuden, veren laktaatin sekä kuormitustuntemuksen vasteita tehtäväsimulaattorin suoritus aiheuttaa, ja miten ne ovat yhteydessä suoritusajaan?

### Hypoteesit:

1. Kehon koostumuksen muuttujista positiivisessa yhteydessä ovat kehon rasvan muutos, negatiivisessa yhteydessä lihasmassan muutos. Fyysisen toimintakyvyn muuttujista alaraajojen maksimi- ja nopeusvoiman sekä 3 000 metrin juoksun muutos ovat voimakkaimmin yhteydessä tehtäväsimulaattorin ajan muutokseen. Myös dynaamisen lihaskestävyyden muutos on vähintään keskinkertaisessa yhteydessä. (Harman ym. 2008; Mala ym. 2015; Pihlainen ym. 2015.)
2. Tehtäväsimulaattorin suorittaminen aiheuttaa voimakasta kuormitustuntemusta ja anaerobisen energiantuoton aineenvaihduntatuotteiden kertymistä lihaksiin ja vereen, jotka yhdessä tai erikseen aiheuttavat perifeeristä ja/tai sentraalista lihasväsymystä. (Bigland-Ritchie 1981; Enoka 2008; Maughan & Gleeson 2010.)

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 6.1 Tutkimusasetelma ja koehenkilöt

Tutkimus toteutettiin 13.5.–26.11.2014 Libanonissa UNIFIL-kriisinhallintaoperaatiossa. Suomalainen kriisinhallintajoukko Libanonissa (SKJL) koostui vuonna 2014 suomalais-irlantilaisen pataljoonan jääkärikomppaniasta, esikunta- ja tukiosista sekä ylempien esikuntien esikuntaupseereista. Yhteensä UNIFIL-operaatiossa palveli noin 300 suomalaista sotilasta.

Tutkimukseen osallistui 58 vapaaehtoista rauhanturvaajaa. Kaikki tämän tutkimuksen koehenkilöt olivat miehiä. Ennen toimialueelle siirtymistä sotilaat kävivät lääkärintarkastuksessa ja suorittivat fyysisen kunnon valintakokeen. Operaatioon pääsemisen ehtona oli 12 minuutin juoksutestissä vähintään 2 300 (esikunta-, valvonta- ja tukitehtävät) tai 2 500 metrin (operatiiviset tehtävät) tulos. Kehon painoindeksi (BMI) oli oltava enintään 30. Sotilaille kerrottiin tutkimuksen tarkoitus ja toteutus, jonka jälkeen he allekirjoittivat tutkimussopimuksen. Tutkimukselle oli haettu eettinen lausunto Keski-Suomen sairaanhoitopiiriltä. Tutkimusluvan hyväksyi Puolustusvoimien henkilöstöpäällikkö Puolustusvoimien ylilääkärin puollon jälkeen (Pääesikunnan päätös AM5527).

*Taulukko 2. Koehenkilöiden ikä, pituus, paino ja BMI tutkimuksen alussa (n = 58).*

	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Ikä (v)	29,2 ± 8,3	20,7	51,2
Pituus (cm)	179,9 ± 6,4	167,2	199,2
Kehon paino (kg)	78,1 ± 7,9	59,8	96,2
BMI	24,1 ± 2,2	18,5	29,3

Tutkimukseen osallistuneet henkilöt palvelivat erilaisissa tehtävissä. Operatiivisissa joukoissa palvelleiden sotilaiden työtehtävät koostuivat pääosin partioinnista, vartiointi- ja valvontatehtävistä sekä ajoneuvosaattueiden suojaustehtävistä. Sen lisäksi osallistuttiin viikoittain erilaisiin koulutustapahtumiin kuten partiointi-, voimankäyttö-, ase käsittely- ja ampumakoulutus. Normaalin partion kesto oli 4–6 tuntia ja se toteutettiin suurimmaksi osaksi ajoneuvolla. Jalan teh-

tävien partioiden määrä oli vähäinen. Vartiointi- ja valvontatehtävät sisälsivät esimerkiksi tukikohtien porttien kulunvalvontaa, ajoneuvojen turvatarkastuksia ja maaston tarkkailua. Osa sotilaista toimi jatkuvassa hälytysvalmiudessa vuorokauden vuoroissa. Huollon sotilaiden tehtävät olivat luonteeltaan heidän siviilitehtäviään vastaavia, kuten kuljetus-, rakennus- ja kunnossapito, pelastustoimi, sotilaspoliisi, viestiliikenne ja ravitsemisala. Esikuntahenkilöstön työtehtävät olivat pääosin normaalia toimistotyöskentelyä klo 8.00–17.00 välisenä aikana.

## 6.2 Mittaukset

Mittaukset toteutettiin 6 kuukautta kestäneen palveluksen alussa ja lopussa. Alkumittaukset tehtiin toimialueelle siirtymisestä vähintään kahden viikon lämpösopeutusjakson jälkeen ja loppumittaukset 19 viikon jälkeen alkumittauksista. Kaikki mittaukset tehtiin sotilastukikohdassa UNP 2-45 (At Tiri, Libanon). Mittaukset jakaantuivat viidelle päivälle siten, että ensimmäisenä päivänä suoritettiin kehon koostumuksen ja voiman mittaus, kolmantena päivänä 3 000 metrin juoksu ja viidentenä päivänä tehtävasimulaattorirata. Päivät 2 ja 4 oli varattu palautumiseen.

*Kehon pituus* mitattiin 0,1 cm tarkkuudella seinämitalla (Seca Bodymeter 206, Seca, Hampuri, Saksa). *Kehon koostumus* (paino, lihas- ja rasvamassa sekä rasvaprosentti) mitattiin 0,1 kg tarkkuudella monitaajuuksisella bioimpedanssimittarilla (InBody 720, Biospace, Soul, Etelä-Korea). *Vyötärön ympärys* mitattiin navan kohdalta mittanauhalla (Seca 201, Seca, Hampuri, Saksa).

*Ala- ja yläraajojen bilateraallinen maksimaalinen voimantuotto* mitattiin Jyväskylän yliopiston elektromekaanisella dynamometrillä (Häkkinen ym. 1998). Molemmat mittaukset tapahtuivat isometrisesti, eli voima tuotettiin paikallaan pysyvään vastukseen. Alaraajojen mittaus tapahtui istuma-asennossa jalkaprässiä muistuttavassa laitteessa, jossa polvikulma oli vakioitu 107 asteeseen. Yläraajojen mittaus suoritettiin penkkipunnerrusta istuma-asennossa siten, että tanko oli olkapäiden tasolla, kyynärkulma 90 astetta ja kyynärpäät olkapäiden ja tangon kanssa samalla tasolla. Koehenkilöä ohjeistettiin tuottamaan maksimaalinen voima muutaman sekunnin ajan. Molemmissa testeissä suoritettiin kolme mittausta, joiden välillä oli vähintään 30 sekunnin tauko. Tilastolliseen tarkasteluun valittiin paras tulos kolmesta mittauksesta.

*Alaraajojen räjähtävää voimantuottoa* arvioitiin vauhdittomalla pituushypyllä, joka suoritettiin mitta-asteikollisella vakioidulla kumimatolla, jonka paksuus oli 9 millimetriä (Fysioline, Tampere, Suomi). Hyppy suoritettiin seisoma-asennosta siten, että jalat olivat lähtöasennossa lantion leveydellä. Ponnistus suoritettiin molemmilla jaloilla, käsien heilautuksen avustaessa liikettä. Alastulo oli suoritettava molemmilla jaloilla, eikä taaksepäin kaatuminen suorituksen lopussa ollut sallittu. Hypyn pituus mitattiin lähtöviivan takareunasta alastulopisteeseen taaimman jalan kantapäästä mitattuna. Koehenkilöt saivat opastuksen tekniikkaan ja tehdä 3–7 harjoitushyppyä ennen kolmea varsinaista mittausta. Tilastolliseen tarkasteluun valittiin paras tulos.

*Keskivartalon ja yläraajojen dynaamista lihaskestävyyttä* arvioitiin istumaannousu-, etunojapunnerrus- ja käsinkohontatestillä. Koehenkilöille näytettiin jokaisen liikkeen oikea suoritustekniikka ja ohjeistettiin virheelliset suoritukset. Liikettä oli mahdollisuus kokeilla ennen testin alkua. Istumaannousun jälkeen ennen etunojapunnerrustestiä oli kolmen minuutin tauko, etunojapunnerruksen jälkeen ennen viimeisenä tehtyä käsinkohontatestiä oli viiden minuutin tauko.

Istumaannousutestin (Viljanen ym. 1991) tarkoitus oli arvioida vartalon koukistajalihasten dynaamista lihaskestävyyttä. Aloitusasennossa koehenkilö makasi selällään polvikulman ollessa 90 astetta. Jalkaterät olivat tuettu avustajan toimesta. Sormet olivat ristissä takaraivon kohdalla. Yksi suoritus täyttyi, kun koehenkilö nousi lähtöasennosta istumaan ja palasi takaisin lähtöasentoon. Istuma-asennossa kyynärpäiden oli kosketettava polvia tai käydä polvien tasolla. Tulos oli minuutin aikana tehtyjen puhtaiden suoritusten lukumäärä.

Etunojapunnerrustestin tarkoituksena oli arvioida yläraajojen lihasten dynaamista voimaa ja kestävyyttä sekä liikettä tukevien lihasten staattista kestävyyttä. Käsien oikea sijainti määritettiin päinmakuulla siten, että peukaloilla oli pystyttävä koskettamaan olkapäitä. Sormien oli osoitettava eteenpäin ja jalat saivat olla enintään lantion leveydellä. Lähtöasennossa kädet olivat suoriksi ojennettuna. Yksi suoritus täyttyi, kun koehenkilö laski vartalonsa ala-asentoon siten, että kyynärkulma oli 90 astetta ja palasi takaisin lähtöasentoon. Vartalon oli pysyttävä suorana koko testin ajan. Tulos oli minuutin aikana yhtäjaksoisesti tehtyjen puhtaiden suoritusten lukumäärä.

Käsinkohontatestillä arvioitiin yläraajojen koukistajalihasten voimaa. Aloitusasennossa koehenkilö roikkui vastaotteella kädet suorana halkaisijaltaan 4 senttimetriä olevassa tangossa.

Yksi suoritus täyttyi, kun suorittaja kohotti vartalolaan käsiä koukistamalla siten, että leuka oli tangon yläreunan tasalla. Vartalon oli pysyttävä suorana koko testin ajan. Tulos oli uupumukseen asti tehtyjen suoritusten lukumäärä.

*Aerobista suorituskkyä* mitattiin 3 000 metrin juoksutestillä. Testi toteutettiin asfaltoidulla 1,13 kilometrin pituisella radalla, jonka kokonaisnousu oli 32 metriä. Rataa juostiin kaksi kokonaista kierrosta ja kolmas päättyi 3 000 metrin kohdalla. Vakioitu alkulämmittely oli yhden kierroksen ohjattu juoksu, jonka jälkeen oli noin 5 minuuttia taukoa ennen testin alkua. Koehenkilöitä ohjeistettiin ylläpitämään tasaista vauhtia ja suorittamaan rata lyhimmissä mahdollisessa ajassa. Aika mitattiin sekuntikellolla.

*Sotilastehtäville tyypillistä fyysistä toimintakykyä* arvioitiin tehtäväsimulaatioradalla (kuva 3). Testi suoritettiin katetulla tekonurmikentällä raskaassa taisteluvälinevarustuksessa. Radan pituus oli 242,5 metriä, ja se sisälsi taistelutilanteessa tarvittavia tyypillisiä suorituksia. Koehenkilöiden välinevarustuksena oli helleasu M04, värikengät, henkilökohtainen välinevarusteliivi kolmella täydellä rynnäkkökiväärin lippaalla, raskas suojaliivi, kypärä sekä rynnäkkökiväärinjaljitelmä (3 kg). Välinevarustuksen paino ilman asetta oli  $20 \pm 1$  kg.

Tehtäväsimulaatiorata alkoi päinmakuulta, josta koehenkilö nousi ylös ja suoritti neljä 6,2 metrin syöksyä muovikartioilla merkityille kohdille. Viimeisen syöksyn jälkeen ryömittiin 11,3 metriä, jonka jälkeen juostiin 21,8 metriä radan toisessa laidassa olevalle kartiolle. Juoksua jatkettiin takaisin toiseen laitaan 21,8 metrin matka ylittäen samalla kolme 40 senttimetrin korkeista aita. Tässä vaiheessa ase tuli viimeistään laittaa selkään käsien vapauttamiseksi, ryöminnin loppuun asti sen tuli olla tilanteenmukaisesti vartalon etupuolella. Seuraavaksi nostettiin käsiin kaksi 16 kilon kahvakuulaa, jotka kannettiin 2,5 metrin matka ja laskettiin maahan yhteensä neljä kertaa. Kantamisen jälkeen suoritettiin 42,2 metrin kartioiden pujottelu juosten. Ennen maaliin juoksua viimeisenä tehtävänä koehenkilöt raahasivat haavoittunutta kuvaavaa kahta yhteen liitettyä hiekkasäkkiä (65 kg) yhteensä 24 metrin matkan.

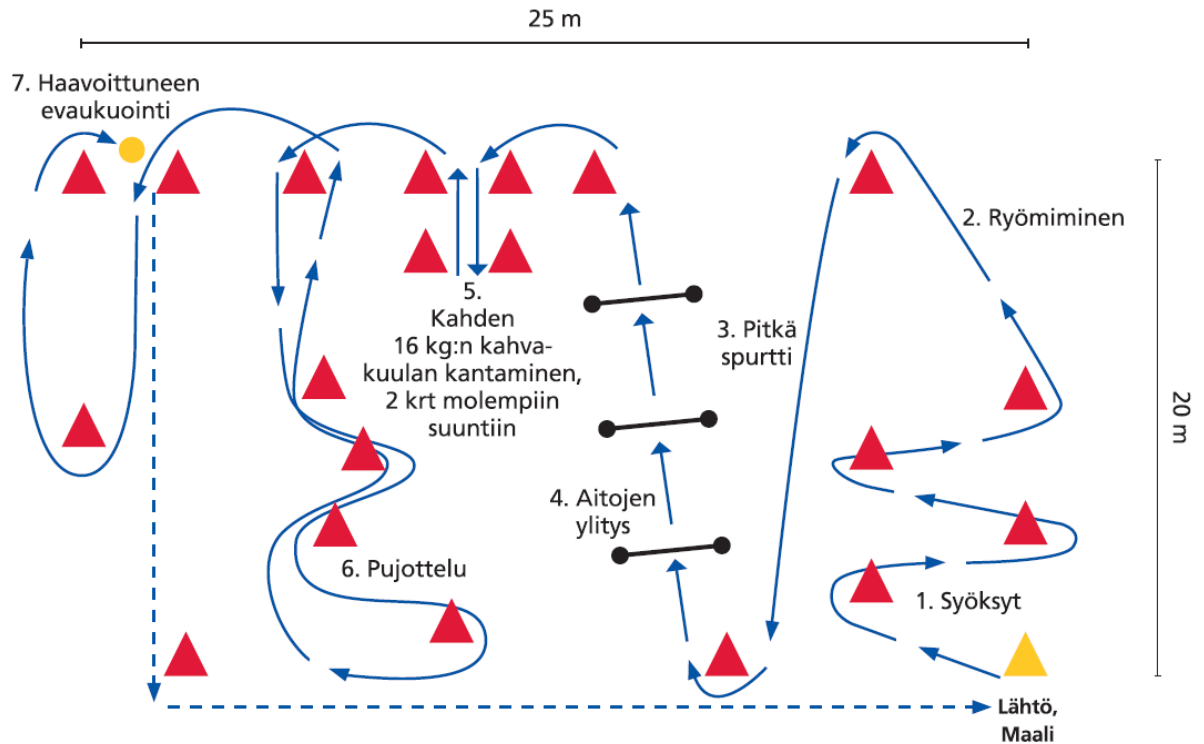
Radan suorittaminen ohjeistettiin yksityiskohtaisesti, ja etenemistä sai harjoitella ennen testin alkua. Virheellisten suoritusten välttämiseksi ratavalvoja ohjeisti koko testin ajan mitä tulee tehdä, jolloin koehenkilön ei tarvinnut keskittyä miettimään suorituksen kulkua. Rata ohjeistettiin suorittamaan maksimaalisella nopeudella ja teholla, ratavalvoja myös kannusti testin aikana suorittajaa antamaan kaikkensa.

*Laktaatin* määrittämistä varten koehenkilöt antoivat verinäytteen sormenpäältä ennen (LaPRE) ja jälkeen (LaPOST) tehtäväsimulaatoradan suoritusta. LaPOST otettiin viisi minuuttia testin päättymisen jälkeen. Verinäytteet analysoitiin laktaattimittarilla (Accutrend Plus, Roche Diagnostics, Mannheim, Saksa).

*Subjekttiivinen kuormitustuntemus* mitattiin Borgin (1982) RPE-asteikolla (6–20) ennen ja jälkeen tehtäväsimulaatoradan suoritusta. RPE (*rating of perceived exertion*) kuvaa henkilön kokemaa kuormituksen tasoa asteikolla, jossa alhaisimmat arvot tarkoittavat erittäin kevyttä kuormitusta ja korkeimmat arvot erittäin rasittavaa kuormitusta.

*Lihasten sähköistä aktiivisuutta* mitattiin alaraajoista shortseihin integroiduilla tekstiilelektrodeilla (Myontec Mbody, Kuopio, Suomi). Lihasten sähköinen aktiivisuus mitattiin ensin maksimaalisessa lihassupistuksessa (MVC) alaraajojen isometrisen voimatestin yhteydessä. Mitattu MVC:n EMG-arvo on 1 sekunnin keskiarvo lihasaktiivisuuden korkeimmasta kohdasta. Tehtäväsimulaatoradalla mitattu lihasaktiivisuus normalisoitiin maksimaalisen lihassupistuksen aikana mitattuun lihasaktiivisuuteen. Mittaus ja normalisointi tehtiin sekä alku- että loppumittauksissa erikseen. Tuloksia tarkasteltiin suhteellisena lihasaktiivisuutena (%EMG<sub>MVC</sub>).

*Tehtäväsimulaatoradan osasuoritusten ajat* määritettiin lihasaktiivisuuden ja videoanalyysin perusteella. Lihastyötavat olivat osasuorituksissa erilaisia, mikä vaikuttaa alaraajojen lihashen sähköiseen aktiivisuuteen. Suorituksen vaiheiden EMG-signaalia tarkasteltiin visuaalisesti, ja sen muutosten perusteella arvioitiin osasuoritusten ajat.



Kuva 3. Tehtäväsimulaatorin kaaviokuva.

### 6.3 Tilastolliset menetelmät

Tutkimustulokset analysoitiin IBM SPSS Statistics 24.0.0 -ohjelmalla. Tuloksia tarkasteltiin alku- ja loppumittausten keskiarvoina sekä mittausten välissä tapahtuneina prosentuaalisina muutoksina. Muutosten merkitsevyyden testaamisessa käytettiin Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testiä. Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin Spearmanin korrelaatioanalyysillä. So-tilaan tehtäväsimulaatorin ajan muutosta selittäviä muuttujia tutkittiin lineaarisella askeltavalla regressioanalyysillä.



## 7 TULOKSET

### 7.1 Kehon koostumus

Kehon painossa ja -koostumuksessa ei havaittu muutosta tutkimusjakson aikana. Ainoastaan vyötärön ympärys väheni merkitsevästi.

*Taulukko 3. Muutokset kehon koostumuksessa (n = 58).*

	Alku	Loppu	Δ (%)
Kehon paino (kg)	78,1 ± 7,9	78,5 ± 8,6	0,4 ± 3,1
Lihasmassa (kg)	38,7 ± 4,3	39,1 ± 4,6	0,9 ± 2,8
Rasvamassa (kg)	10,5 ± 3,9	10,4 ± 3,6	1,0 ± 17,5
Rasvaprosentti (%)	13,3 ± 4,5	13,1 ± 4,1	0,4 ± 15,4
Vyötärön ympärys (cm)	85,5 ± 6,5	82,8 ± 6,1	-3,1 ± 3,1***

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

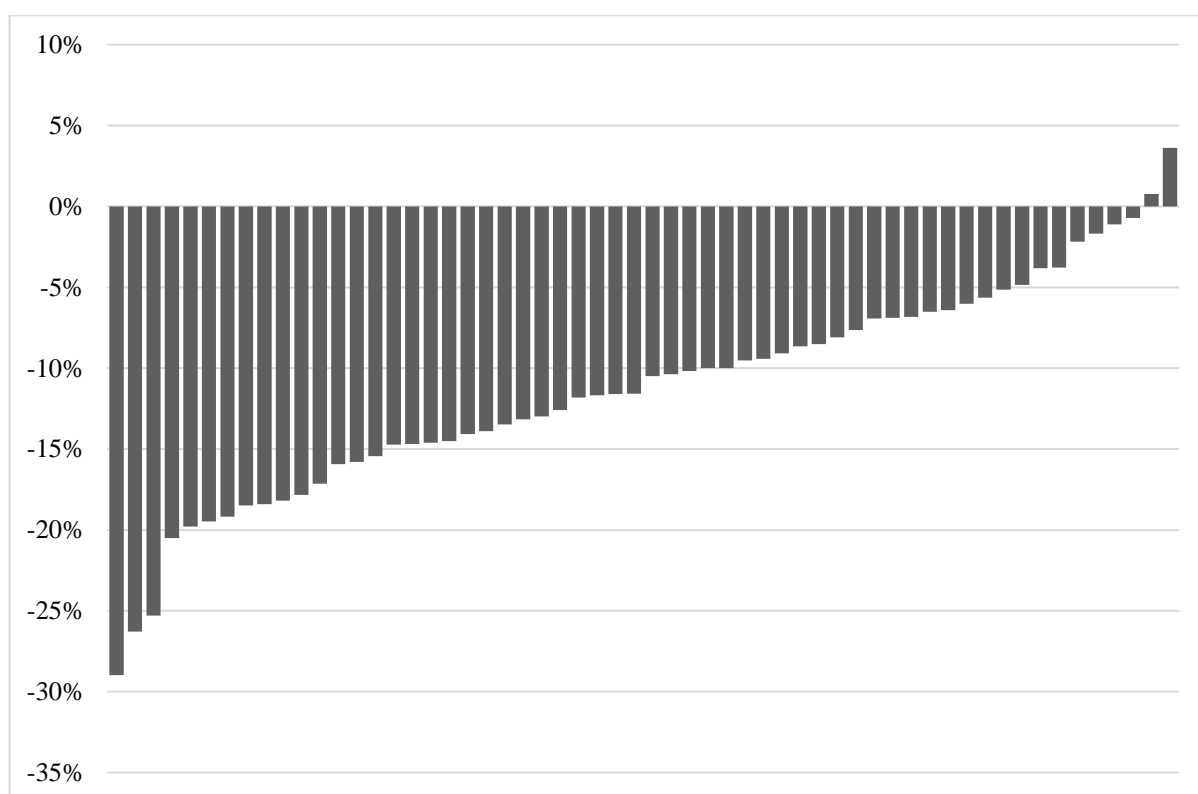
### 7.2 Fyysinen toimintakyky

Sotilaan tehtäväsimulaattorin aika parani ( $-11,3 \pm 6,7$  %,  $p < 0,001$ ). Myös alaraajojen maksimivoima, istumaannousu, etunojapunnerrus ja käsinkohonta paranivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi (taulukko 4). Tehtäväsimulaattorin aika parani lähes kaikilla koehenkilöillä (kuvio 3). Aika parani myös kaikissa osasuorituksissa, suurin ero ajassa mitattuna oli kahva-kuulien kantamisessa (kuvio 4). Suurin prosentuaalinen muutos tapahtui haavoittuneen evakuoinnissa (taulukko 5). Tehtäväsimulaattorin ja 3 000 metrin juoksun yksilölliset muutokset ovat esitetty kuviossa 5. Yksittäinen tummanharmaa pylväs kuvaa koehenkilön juokсутestin prosentuaalista muutosta, vieressä oleva vaaleanharmaa pylväs on saman henkilön tehtäväsimulaattorin ajan muutos.

Taulukko 4. Muutokset fyysisessä toimintakyvyssä ( $n = 58$ ).

	Alku	Loppu	$\Delta$ (%)
Tehtäväsimulaatorata (min:sek)	$2:28 \pm 0:22$	$2:11 \pm 0:17$	$-11,3 \pm 6,7^{***}$
3 000 metrin juoksu (min:sek)	$13:53 \pm 1:28$	$13:49 \pm 1:20$	$-0,2 \pm 4,8$
Maksimivoima ala (kg)	$427 \pm 100$	$467 \pm 115$	$10,1 \pm 15,4^{***}$
Maksimivoima ylä (kg)	$116 \pm 24$	$118 \pm 24$	$1,8 \pm 7,5$
Vauhditon pituus (cm)	$236 \pm 20$	$235 \pm 26$	$-0,4 \pm 6,6$
Istumaannousu (kpl/min)	$46 \pm 9$	$48 \pm 8$	$6,3 \pm 13,0^{***}$
Etunojapunnerrus (kpl/min)	$41 \pm 13$	$47 \pm 13$	$20,0 \pm 24,5^{***}$
Käsinkohonta (kpl)	$10 \pm 5$	$13 \pm 6$	$44,0 \pm 56,7^{***}$

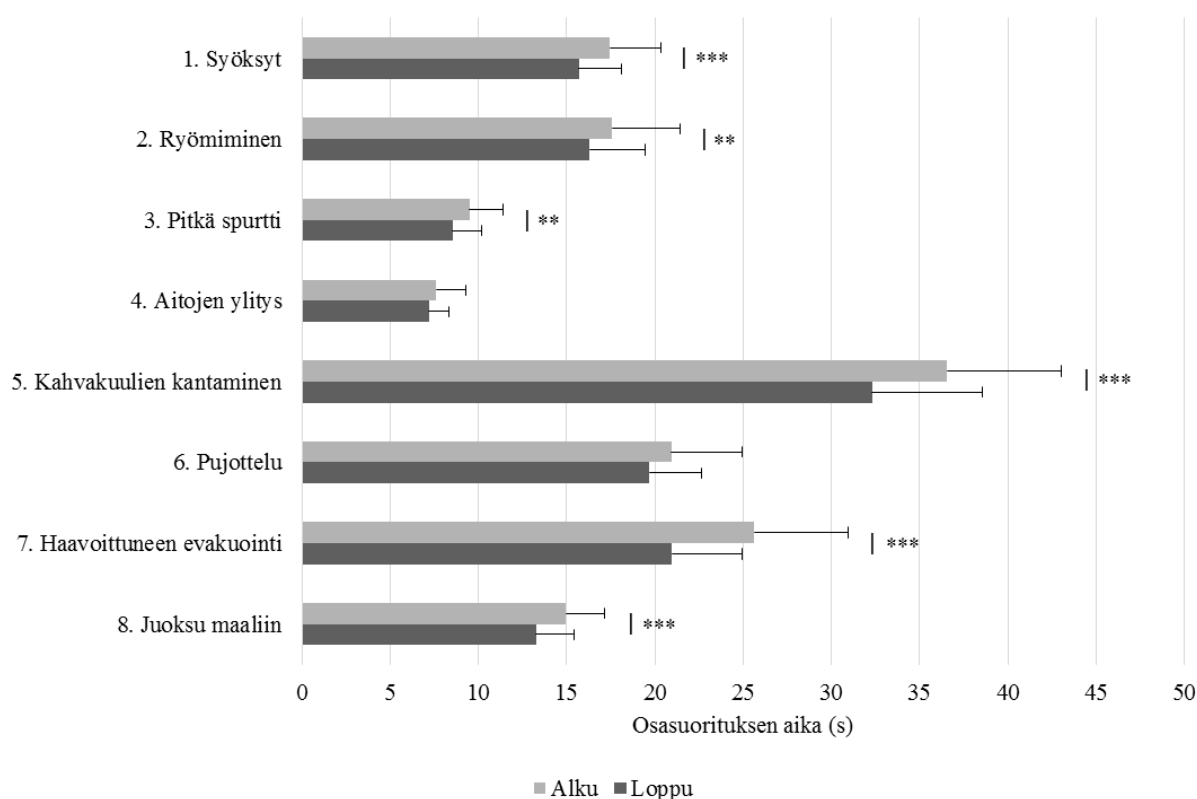
\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

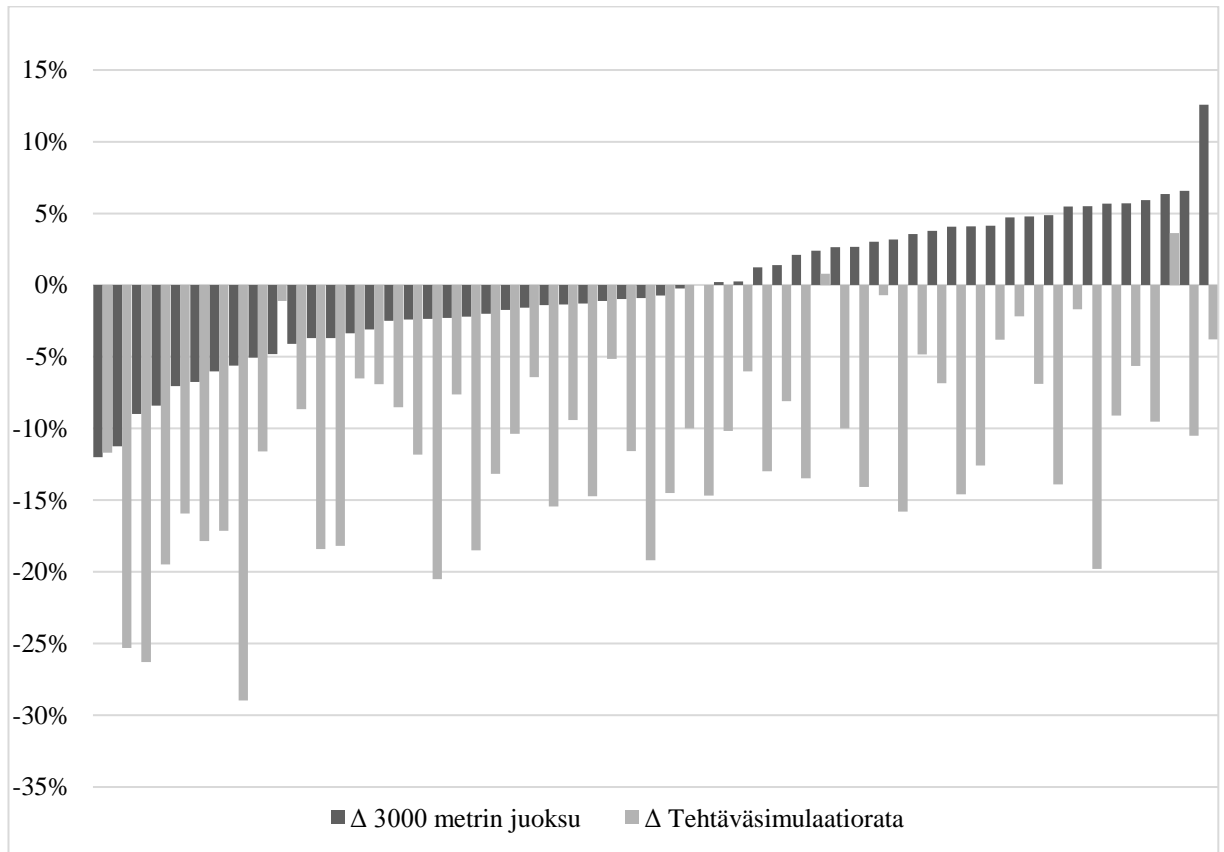
Kuvio 3. Tehtäväsimulaatoradan suoritusajan yksilölliset muutokset ( $n = 58$ ).

Taulukko 5. Tehtäväsimulaattorin osasuoritusten muutokset ( $n = 43$ ).

	Alku (s)	Loppu (s)	$\Delta$ (%)
1. Syöksyt	$17,5 \pm 2,9$	$15,7 \pm 2,4$	$-9,3 \pm 10,7^{***}$
2. Ryömiminen	$17,6 \pm 3,9$	$16,3 \pm 3,2$	$-4,9 \pm 20,1^{**}$
3. Pitkä spurtti	$9,5 \pm 1,9$	$8,6 \pm 1,6$	$-6,8 \pm 24,4^{**}$
4. Aitojen ylitys	$7,6 \pm 1,7$	$7,2 \pm 1,2$	$-1,4 \pm 26,6$
5. Kahvakuulien kantaminen	$36,6 \pm 6,5$	$32,3 \pm 6,2$	$-10,7 \pm 13,4^{***}$
6. Pujottelu	$20,9 \pm 4,0$	$19,7 \pm 3,0$	$-4,0 \pm 16,1$
7. Haavoittuneen evakuointi	$25,6 \pm 5,3$	$21,0 \pm 4,0$	$-16,4 \pm 15,9^{***}$
8. Juoksu maaliin	$15,0 \pm 2,2$	$13,3 \pm 2,2$	$-10,2 \pm 16,2^{***}$

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

Kuvio 4. Tehtäväsimulaattorin osasuoritusten kesto alku- ja loppumittauksissa ( $n = 43$ ).



Kuvio 5. 3 000 metrin juoksun ja tehtäväsimulaattoriradan suoritusajan yksilölliset muutokset.

### 7.3 Elektromyografia, laktaatti ja kuormitustuntemus

Alaraajojen lihasten suhteellinen sähköinen aktiivisuus parani tehtäväsimulaattoriradalla. Taulukossa 6 on esitetty suhteellisen EMG:n keskiarvot radan eri vaiheista ja koko suorituksesta. Esimerkiksi %EMG<sub>MVC</sub> 4 on radan vaiheesta 4: aitojen ylitys, %EMG<sub>MVC</sub> 8 on loppusprintti maaliin (kuva 3). La<sub>PRE</sub> ei muuttunut alku- ja loppumittausten välillä. Loppumittauksissa La<sub>POST</sub> oli alkumittauksiin verrattuna 4,9 mmol/l suurempi. Koettu kuormitustuntemus (RPE) ei muuttunut.

Taulukko 6. Alaraajojen lihasten sähköinen aktiivisuus tehtäväradalla.

	Alku	n	Loppu	n	$\Delta$ (%)	n
%EMG <sub>MVC</sub> 1	134 ± 69	51	175 ± 89	43	58 ± 89**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 2	80 ± 44	51	108 ± 64	43	74 ± 116**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 3	91 ± 69	51	120 ± 85	43	76 ± 136**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 4	103 ± 76	51	140 ± 96	43	86 ± 137**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 5	79 ± 56	51	99 ± 68	43	69 ± 122**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 6	80 ± 70	51	97 ± 75	43	74 ± 153**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 7	80 ± 52	51	103 ± 68	43	77 ± 154**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 8	104 ± 73	51	131 ± 91	43	84 ± 201**	37
%EMG <sub>MVC</sub> 1–8	90 ± 57	51	116 ± 70	43	67 ± 112**	37

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

Taulukko 7. Veren laktaatti ja kuormitustuntemus tehtäväsimulaatioradalla.

	Alku	n	Loppu	n	$\Delta$ (%)	n
La <sub>PRE</sub> (mmol/l)	2,6 ± 1,7	41	2,0 ± 0,7	58	-1,6 ± 56,0	41
La <sub>POST</sub> (mmol/l)	10,9 ± 3,6	41	15,8 ± 3,6	58	62,7 ± 55,1***	41
RPE <sub>PRE</sub> (6–20)	11 ± 2	58	11 ± 2	58	19,3 ± 158,8	58
RPE <sub>POST</sub> (6–20)	18 ± 1	57	18 ± 1	58	0,3 ± 7,9	57

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

## 7.4 Muuttujien ja muutosten väliset yhteydet

Lähes kaikki kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muuttujat olivat yhteydessä tehtäväsimulaattorin aikaan alku- ja loppumittauksissa (taulukko 8). Voimakkain yhteys alkumittauksissa oli etunojapunnerruksella, loppumittauksissa vauhdittomalla pituushypyillä.

*Taulukko 8. Muuttujien väliset yhteydet tehtäväsimulaattorin aikaan alku- ja loppumittauksissa.*

	Tehtäväsimulaattorin (alku)	n	Tehtäväsimulaattorin (loppu)	n
Kehon paino	-0,224	58	-0,273*	58
Lihasmassa	-0,505**	58	-0,474**	58
Rasvamassa	0,402**	58	0,322*	58
Rasvaprosentti	0,541**	58	0,493**	58
Vyötärönympärys	0,253	58	0,121	58
3 000 metrin juoksu	0,405**	58	0,432**	58
Maksimivoima ala	-0,415**	58	-0,319*	58
Maksimivoima ylä	-0,503**	58	-0,513**	58
Vauhditon pituus	-0,552**	58	-0,615**	58
Istumaannousu	-0,502**	58	-0,391**	58
Etunojapunnerrus	-0,617**	58	-0,430**	58
Käsinkohonta	-0,455**	58	-0,424**	58
%EMG <sub>MVC</sub> 1–8	-0,040	51	-0,306*	43
La <sub>PRE</sub>	-0,181	41	0,035	58
La <sub>POST</sub>	-0,004	41	0,113	58
RPE <sub>PRE</sub>	0,015	58	0,162	58
RPE <sub>POST</sub>	0,159	57	-0,121	58

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

Kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muutosten ja tehtäväsimulaattorin ajan muutoksen välillä havaittiin vain keskinkertaisia yhteyksiä. Voimakkain yhteys oli 3 000 metrin juoksuajan muutoksella. Taulukossa 9 on esitetty prosentuaalisten muutosten välinen Spearmanin korrelaatiokerroin.

*Taulukko 9. Prosentuaalisten muutosten väliset yhteydet (n = 58).*

	$\Delta$ Tehtäväsimulaattorin	n
$\Delta$ Kehon paino	0,120	58
$\Delta$ Lihasmassa	-0,203	58
$\Delta$ Rasvamassa	0,417**	58
$\Delta$ Rasvaprosentti	0,443**	58
$\Delta$ Vyötärön ympäryys	0,265*	58
$\Delta$ 3 000 metrin juoksu	0,462**	58
$\Delta$ Maksimivoima ala	-0,228	58
$\Delta$ Maksimivoima ylä	0,053	58
$\Delta$ Vauhditon pituus	-0,206	58
$\Delta$ Istumaannousu	-0,074	58
$\Delta$ Etunojapunnerrus	-0,332*	58
$\Delta$ Käsinkohonta	-0,112	58
$\Delta$ %EMG <sub>MVC</sub> 1–8	0,332*	37
$\Delta$ L <sub>APRE</sub>	0,285	41
$\Delta$ L <sub>APOST</sub>	0,192	41
$\Delta$ RPE <sub>PRE</sub>	0,129	58
$\Delta$ RPE <sub>POST</sub>	0,110	57

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

Lineaarisen askeltavan regressioanalyysin 1 (taulukko 10) perusteella tehtäväsimulaattorin aikaa selitti parhaiten 3 000 metrin juoksun muutos. Regressiomallin selitysaste oli 26,2 %. Toiseen malliin lisättiin selittäjäksi myös lihasmassan muutos, jonka jälkeen selitysaste oli 32,2 %. Kolmanteen malliin selittäjäksi nousi vielä vyötärön ympäryksen muutos, jolloin selitysaste oli 36,0 %. Kaikki regressiomallit olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

Regressioanalyysiin 2, johon otettiin mukaan riippumattomiksi muuttujiksi lihasaktiivisuuden ja laktaatin muutos, tehtäväradan aikaa selitti parhaiten lihasmassan ja 3 000 metrin juoksun muutos (taulukko 11). Lihasmassan selitysaste oli 26,8 %, yhdessä 3 000 metrin juoksun kanssa mallin selitysaste nousi 36,5 %:iin. Otokoko oli kuitenkin huomattavasti pienempi ( $n = 28$ ), sillä EMG- ja laktaattituloksia ei saatu mitattua koko tutkimusjoukolta.

*Taulukko 10. Tehtäväsimulaattorin ajan muutoksen regressioanalyysi 1 ( $n = 58$ ).*

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	$R^2$ adj.
<b>Malli 1</b>					0,000	0,262
$\Delta$ 3 000 metrin juoksu	0,724	0,157	0,525	4,613	0,000	
<b>Malli 2</b>					0,000	0,322
$\Delta$ 3 000 metrin juoksu	0,722	0,151	0,523	4,798	0,000	
$\Delta$ Lihasmassa	-0,630	0,259	-0,266	-2,435	0,018	
<b>Malli 3</b>					0,000	0,360
$\Delta$ 3 000 metrin juoksu	0,563	0,165	0,408	3,404	0,001	
$\Delta$ Lihasmassa	-0,877	0,279	-0,370	-3,147	0,003	
$\Delta$ Vyötärön ympärys	0,572	0,278	0,267	2,056	0,045	

*B = standardoimaton regressiokerroin, SE B = regressiokertoimen keskivirhe,  $\beta$  = standardoitu regressiokerroin,  $R^2$  adj. = korjattu selitysaste.*

*Taulukko 11. Tehtäväsimulaattorin ajan muutoksen regressioanalyysi 2 ( $n = 28$ ).*

	<i>B</i>	<i>SE B</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	$R^2$ adj.
<b>Malli 1</b>					0,003	0,268
$\Delta$ Lihasmassa	-1,198	0,363	-0,543	-3,300	0,003	
<b>Malli 2</b>					0,001	0,365
$\Delta$ Lihasmassa	-1,117	0,340	-0,507	-3,285	0,003	
$\Delta$ 3 000 metrin juoksu	0,492	0,220	0,344	2,231	0,035	

*B = standardoimaton regressiokerroin, SE B = regressiokertoimen keskivirhe,  $\beta$  = standardoitu regressiokerroin,  $R^2$  adj. = korjattu selitysaste.*



Riippumattomien muuttujien keskinäistä vaikutusta selityksasteisiin pyrittiin etsimään tekemällä useita erilaisia regressioanalyyskejä. Kehon koostumusta ja fyysistä toimintakykyä analysoitiin erikseen. Lihasaktiivisuus analysoitiin yhdessä kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn sekä erikseen fyysisen toimintakyvyn kanssa. Laktaatti analysoitiin kaikkien muuttujien kanssa yhdessä. Kaikki analyysit tehtiin lisäksi ilman 3 000 metrin juoksua. Lisäanalyyseistä ei saatu erityisiä mielenkiintoisia löydöksiä. Analyysissä, johon otettiin mukaan ainoastaan fyysisen toimintakyvyn muuttujat, parhaaksi selittäjäksi nousi alaraajojen maksimivoima ( $\beta = -0,150$ ,  $p < 0,01$ ), mutta mallin selityksaste oli vain 10,4 % ( $p < 0,01$ ).

## 8 POHDINTA

Regressioanalyysissä selittäjiksi nousivat 3 000 metrin juoksun, lihasmassan ja vyötärön ympäryksen muutos, mutta mallien selityssasteet olivat heikkoja. Regressiomallien matalat selityssasteet tarkoittavat sitä, että valtaosa tehtäväsimulaattoriradan suoritusajan muutoksesta selittyy muilla, tuntemattomilla tekijöillä. Tehtäväsimulaattoriradan suorituksen muutokselle ei löytynyt vahvoja selittäjiä. Oppimisvaikutuksen ja motivaation merkitys saattoi olla suuri.

Fyysisen toimintakyvyn ja kehon koostumuksen yhteydet tehtäväsimulaattoriradan suoritukseen olivat aiempien tutkimustulosten mukaisia (Harman ym. 2008; Crawford ym. 2011; Blount ym. 2013; Mala ym. 2015; Hydren ym. 2017; Beck ym. 2017). Kehon koostumuksen tekijöistä lihasmassan negatiivinen ja rasvaprosentin sekä -massan positiivinen korrelaatio olivat hypoteesin mukaisia. Kaikki lihasvoimatestit olivat sekä alku- että loppumittauksissa yhteydessä tehtäväsimulaattoriradan aikaan. Vahvin yhteys oli vauhdittomalla pituushypyllä ja etunojapunnerruksella. Aiemmissä tutkimuksissa on tehty vastaavia havaintoja. 3 000 metrin juoksu oli keskimukaisesti lineaarisessa yhteydessä tehtäväsimulaattoriradan aikaan molemmissa mittauksissa, mutta lähes kaikilla lihasvoimatesteillä oli keskimäärin korkeampi korrelaatio.

Tehtäväsimulaattoriradan kokonaisajan lisäksi myös kaikkien osasuoritusten ajat paranivat, mutta aitojen ylityksessä ja pujottelussa muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Muutosten suuruuden perusteella voi havaita, että koehenkilöt eivät tarkoituksella muuttaneet vauhdinjakoaan – suoritusteho oli korkea radan kaikissa vaiheissa. Lisäksi koehenkilöiden lihasaktiivisuus parani radan kaikissa vaiheissa merkittävästi, joten lisääntynyt motivaatio ja suorituksen motorinen oppiminen saattaa selittää valtaosan tehtäväsimulaattoriradan ajan muutoksesta. Energiantuottomekanismien parantumisesta ei saatu riittävän tarkkaa tietoa. Korkeampi radan jälkeinen veren laktaatti loppumittauksissa kertoo suuremmasta anaerobisen glykolyysin avulla tuotetun energian määrästä, mutta laktaatin perusteella ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöstä, että anaerobinen kapasiteetti olisi parantunut. Tarkempaa tietoa varten olisi pitänyt mitata anaerobista suorituskkyä erillisellä testillä. 3 000 metrin juoksutestin muutoksen nouseminen vahvimaksi selittäjäksi tehtäväsimulaattoriradan ajan muutokselle oli hypoteesin mukainen. Maksimaalisen hapenotto-kyvyn muutoksen yhteydestä ei kuitenkaan saatu riittävän tarkkaa tietoa, sillä 3 000 metrin juoksutestin muutos voi osittain johtua myös muista tekijöistä kuin parantuneesta aerobisesta suorituskkyvystä. Anaerobisen kapasiteetin ja maksimaalisen hapenotto-kyvyn yhteyksistä tehtäväsimulaattoriradan suoritukseen tarvitaan lisää tietoa.

## 8.1 Muutosta selittävät tekijät

*Kehon koostumus.* Muutokset kehon koostumuksessa olivat vähäisiä. Ainoastaan vyötärön ympärys muuttui tutkimusjakson aikana merkitsevästi ( $-3,1 \pm 3,1$  %,  $p < 0,001$ ). Lihasmassa, rasvamassa ja -prosentti olivat yhteydessä tehtäväsimulaattorin suorituksen sekä alku- että loppumittauksissa. Kehon paino oli yhteydessä vain loppumittauksissa. Tehtäväsimulaattorin ajan muutokseen oli keskinen lineaarinen yhteys rasvamassan ( $r = 0,417$ ,  $p < 0,01$ ) ja rasvaprosentin ( $r = 0,443$ ,  $p < 0,01$ ) muutoksella. Vyötärön ympäryksen muutoksella oli heikko lineaarinen yhteys ( $r = 0,265$ ,  $p < 0,05$ ). Lihasmassa nousi selittäjäksi viidestä regressiomallista kaikkiin paitsi yhteen. Aiemmat tutkimukset tukevat näitä tuloksia.

Crawfordin ym. (2011) mukaan sotilailla, joilla on sama rasvattoman massan määrä, pienemmän rasvamassan omaavien sotilaiden aerobinen ja anaerobinen suorituskyky sekä lihasvoima ovat parempia. Hydrenin ym. (2017) meta-analyysin mukaan antropometriset muuttujat selittävät 24–54 % tyypillisen sotilastehtävän – maksimaalisen nostokapasiteetin suorituskyvystä. Rasvaton kehonmassa itsenäisenä muuttujana selittää noin 69 %. Pihlaisen ym. (2016) raporttien tulosten mukaan KRITOKY-tutkimuksen alkumittauksissa sotilaan tehtäväsimulaattorin suoritus aika oli kehon koostumuksen muuttujista voimakkaimmin yhteydessä rasvaprosenttiin ( $r = 0,53$ ,  $p < 0,001$ ) ja lihasmassaan ( $r = -0,47$ ,  $p < 0,001$ ).

Beck ym. (2017) havaitsivat kehon rasvattoman massan – erityisesti jalkojen – olevan itsenäisesti yhteydessä suorituskykyyn erilaisissa kantotehtävissä, jotka ovat verrattavissa tehtäväsimulaattorin vaiheeseen 5 (kahden 16 kg kahvakuulan kantaminen). Tutkimuksessa jalkojen rasvattoman massan ja kantotehtävien suorituskyvyn yhteys oli sukupuolesta riippumaton.

Harmanin ym. (2008) tutkimuksessa havaittiin korkean kehon massan yhteys parempaan suoritukseen haavoittuneen evakuoinnissa. Testi oli samankaltainen tämän tutkimuksen tehtäväsimulaattorin evakuointiosuuden kanssa, mutta haavoittunutta sotilasta kuvaava nukke oli painoltaan 65 kilon sijaan 80 kiloa. Tutkimuksessa tehtiin myös useita muita sotilaan fyysistä toimintakykyä mittaavia testejä – kaikissa suuri kehon massa oli yhteydessä heikompaan suoritukseen, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Kehon rasvatonta- ja rasvamassaa ei kuitenkaan mitattu, joten tutkimuksesta ei voida suoraan tehdä johtopäätöksiä korkean kehon massan olevan välttämättä sotilaan fyysistä toimintakykyä heikentävä tekijä.

Crowder ym. (2013) vertasivat perinteisen kuntotestin (Army Physical Fitness Test, APFT) tuloksia testipatteristoon (Military Optimal Performance Challenge, MOPC), jossa mitattiin monipuolisesti sotilaan fyysistä toimintakykyä. Testit mittasivat kestävyyyden lisäksi myös ylä- ja alaraajojen voimaa sekä ketteryyttä, motorista suorituskkyä, anaerobista tehoa ja kykyä haavoittuneen evakuointiin. APFT, joka sisältää 3,2 km juoksun, punnerrus- ja istumaannousutestit, suosi kevyempiä henkilöitä. Suuri kehon massa oli yhteydessä heikompaan tulokseen ( $r = -0,47$ ,  $p = 0,04$ ), mutta MOPC-testipatteristossa se ei vaikuttanut suoritusta heikentävästi ( $r = 0,13$ ,  $p = 0,58$ ).

*Aerobinen energiantuotto.* Vahvimmin tehtäväsimulaatoradan ajan muutokseen oli yhteydessä aerobista suorituskkyä mittaavan 3 000 metrin juoksuajan muutos. Tulos tukee teoriaa siitä, että tehostunut aerobinen energiantuotto parantaa tehtäväsimulaatoradan suoritusta, sillä arvion mukaan noin puolet energiasta tuotetaan aerobisesti tehtäväradalla. 3 000 metrin juoksussa energiantuotto tapahtui pääasiassa aerobisesti, koska testin aikojen keskiarvot olivat hieman alle 14 minuuttia. Esimerkiksi 10 minuutin maksimaalisessa suorituksessa 65 % energiasta tuotetaan aerobisesti, 35 % anaerobisesti. 30 minuutin suorituksessa aerobisen energiantuoton osuus on jo 95 %. 3 000 metrin juoksussa on tutkittu aerobisen energiantuoton osuuden olevan miehillä 86 % ja naisilla 94 %. Lyhyessä noin kahden minuutin maksimaalisessa suorituksessa, joka vastaa tehtäväsimulaatoradan aikaa, energiasta 50 % tuotetaan aerobisesti ja 50 % anaerobisesti. (Duffield ym. 2005; McArdle ym. 2015, 169.) Kestävyysuorituskyky ei kuitenkaan tarkoita pelkkää suurta maksimaalista hapenottoa, vaan energia täytyy pystyä muuttamaan taloudelliseksi liikuntasuorituksiksi, joka riippuu hermo-lihasjärjestelmän voimantuottokyvystä ja suoritustekniikasta (Nummela 2016, 272). Pelkästään aerobisen energiantuoton paraneminen ei siis välttämättä selittänyt 3 000 metrin juokсутестin tuloksen parantumista ja samalla tehostunutta energiantuottoa tehtäväsimulaatoradalla. Suora hapenottoa testaus olisi antanut tarkempaa tietoa aerobisen energiantuoton kehittymisestä. Tehtäväsimulaatoradan suoritus aika parani merkittävästi myös henkilöillä, joilla 3 000 metrin juokсутестin aika lisääntyi tai väheni vain hieman (kuvio 5).

3 000 metrin juoksun parantuminen voi osittain selittyä myös oppimisella, vaikka koko tutkimusjoukon muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Rata ei ollut tuttu 400 metrin juoksurata, vaan korkeuseroiltaan muuttuva asfalttirata, jossa vauhdinjakoa ei ensimmäisellä testikerralla välttämättä ollut optimaalinen. Auttaakseen vauhdinjakoa, testin valvojat ilmoittivat yhden ja

kahden kilometrin kohdalla koehenkilöille heidän vauhtinsa suhteutettuna 12 minuutin juoksu-testin vauhtiin. Loppumittauksissa useat koehenkilöt kuitenkin kertoivat, että testin suorittaminen oli huomattavasti helpompaa, kun suoritus oli tuttu.

*Anaerobinen energiantuotto.* Tässä tutkimuksessa ei saatu tarkkaa tietoa anaerobisen suorituskyvyn yhteydestä tehtäväsimulaatoradan ajan muutokseen, sillä anaerobista tehoa tai -kapasiteettia ei mitattu erikseen. Loppumittauksissa tehtäväsimulaatoradan jälkeen mitattu veren laktaatti ( $15,8 \pm 3,6$  mmol/l) oli 62,7 % suurempi, kuin alkumittauksissa ( $10,9 \pm 3,6$  mmol/l). Korkea laktaatin määrä veressä kertoo suuremmasta anaerobisen glykolyysin avulla tuotetun energian määrästä. Veren laktaatista ei kuitenkaan voida suoraan tehdä johtopäätöstä, että anaerobinen energiantuottomekanismi on parantunut. Koehenkilön oma motivaatio ja ympäristö vaikuttavat suorituksen tehoon. (Wilmore 1968; McArdle ym. 2015, 231). Teholajien urheilijat saavuttavat yleensä 20–30 % suuremmat maksimaaliset veren laktaattiarvot, kuin harjoittelemattomat. Tätä selittävät useat tekijät. Urheilijalla voi olla harjoittelun kautta lisääntynyt motivaatio suorittamiseen, jolloin irtiottokyky on parempi. Lisäksi anaerobinen glykolyysi voi tehostua lisääntyneen lihasglykokeenin määrän takia, mikä voi tapahtua ilman varsinaista kehitystä anaerobisen energiantuoton mekanismeissa. Esimerkiksi anaerobiseen glykolyysiin liittyvien entsyymien, kuten fosfofruktokinaasin, määrät lisääntyvät harjoittelun myötä. (McArdle ym. 2015, 163.)

Laktaatti itsessään ei ole lihasväsymystä aiheuttava tekijä. Anaerobisessa glykolyysissä syntyy laktaatin tuoton ohella vetyioneja ( $H^+$ ), jotka aiheuttavat lihaksen pH:n laskua. Happamissa olosuhteissa monien anaerobisessa glykolyysissä tarvittavien kemiallisten reaktioiden toiminta häiriintyy. Vapaat vetyionit voivat myös suoraan häiritä lihassupistuksen mekanismeja. Vaikka laktaatin pitoisuus veressä onkin voimakkaasti yhteydessä väsymiseen, ei sen määrästä voida tehdä suoria johtopäätöksiä siitä, mikä väsymystä suorituksessa aiheuttaa. (Maughan & Gleeson 2010, 115–116.)

Anaerobisen suorituskyvyn yhteydestä tehtäväsimulaatoradan kaltaisessa suorituksessa on vähän aiempia tutkimuksia. Angeltveit ym. (2016) tutkivat anaerobista suorituskykyä mittaavien testien yhteyksiä evakuointitestiin. Tutkimukseen osallistui 19 Norjan laivaston erikoisjoukkojen sotilasta. Evakuointitesti oli samankaltainen kuin tehtäväsimulaatoradan vaihe 7: haavoituneen evakuointi, mutta nukke oli painoltaan 80 kg ja suorituksen kesto pidempi (noin 50 se-

kuntia). Koehenkilöillä ei ollut taisteluvärustusta. Evakuointitesti korreloi hyvin Wingaten testin ( $r = -0,68, p < 0,01$ ), 300 metrin sprintin (juoksu) ajan ( $r = 0,51, p < 0,05$ ) ja 300 metrin sprintin tehon (W) ( $r = -0,67, p < 0,01$ ) kanssa.

*Lihaskäky.* Kaikki lihasvoimaa mittaavat testit olivat sekä alku- että loppumittauksissa yhteydessä tehtäväsimulaattorin suoritukseseen. Voimakkaimmat yhteydet olivat vauhdittomalla pituushypyillä ja etunojapunnerruksella. Aiemmat tutkimukset lihasvoiman merkityksestä lyhyissä kovatehoisissa suorituksissa tukevat tuloksia. Muutoksia tarkasteltaessa yhteydessä oli ainoastaan etunojapunnerruksen muutos, eikä regressioanalyysiin noussut lihasvoima vahvaksi selittäjäksi. Tulokset siitä, etteivät lihasvoiman muutokset selitä tehtäväsimulaattorin ajan muutosta, tukevat pohdintaa oppimisvaikutuksesta, sekä toisaalta aerobisen kunnan mahdollisesta tärkeydestä lihasvoimaan verrattuna.

Harmanin ym. (2008) tutkimuksessa vastaavan taisteluvärustuksessa suoritettavan radan (*obstacle course*) aikaan oli voimakkaimmin yhteydessä vauhditon pituus- ( $r = -0,69, p < 0,01$ ) ja vertikaalihyppy ( $r = -0,62, p < 0,01$ ), 3,2 km juoksu ( $r = 0,57, p < 0,01$ ) sekä istumaannousu ( $r = -0,57, p < 0,01$ ). Haavoittuneen evakuointitestissä voimakkain yhteys oli kehon massalla ( $r = -0,45, p < 0,01$ ). Regressiomalliin nousi tehtäväsimulaattorin selittäjiksi vauhditon pituushyppy, istumaannousu ja vertikaalihyppy ( $r = 0,818, p < 0,001$ ). Haavoittuneen evakuointin regressiomalliin nousi kehon massa, vertikaalihyppy, 3,2 km juoksu ja etunojapunnerrus ( $r = 0,769, p < 0,001$ ).

Mala ym. (2015) tutkivat maksimi- ja nopeusvoiman yhteyksiä samankaltaisen tehtäväsimulaattorin suoritukseseen, kuin tässä tutkimuksessa. Rata alkoi päinmakuulta, jonka jälkeen suoritettiin kolme tehtävää: 30 metrin sprintti, 27 metrin siksak-juoksu ja 10 metrin haavoittuneen evakuointi (79,5 kg). Koehenkilöillä oli päällään yhteensä 42 kilon taisteluvärustus. Maksimi-voimaa mitattiin penkkipunnerruksen ja kyykyn yhden toiston maksimilla. Alaraajojen tehontuottoa ja nopeusvoimaa mitattiin kevennyshypyillä, jossa laskettiin tuotettu teho (W). Dynaamista lihaskestävyyttä ja aerobista kestävyyttä mitattiin perinteisellä kuntotestillä (APFT), joka sisältää etunojapunnerrus- ja istumaannousutestin sekä 3,2 km juokсутestin. Radan suoritus-aika (alle 40 sekuntia) oli lyhyempi kuin tässä tutkimuksessa (yli 2 minuuttia). Myös taisteluvärustuksen paino oli suurempi (42 kg – 23 kg), joten testi oli luonteeltaan enemmän voimaa ja an-

aerobista kapasiteettia vaativa. Radan suoritukseen olivat voimakkaimmin yhteydessä kevenyshyppy ( $r = -0,67, p < 0,01$ ), kyykky ( $r = -0,62, p < 0,01$ ) ja penkkipunnerrus ( $r = -0,62, p < 0,01$ ). Myös etunojapunnerrustestillä oli heikko yhteys ( $r = -0,38, p < 0,05$ ).

KRITOKY-tutkimuksen alkumittauksissa tehtäväsimulaatoradan suoritusaika oli fyysisen toimintakyvyn muuttujista voimakkaimmin yhteydessä alaraajojen räjähtävään voimantuottoon: vertikaalishyppy taisteluvarustuksessa ( $r = -0,66, p < 0,001$ ) ja vauhditon pituushyppy ( $r = -0,62, p < 0,001$ ). Keskinkertainen lineaarinen yhteys oli dynaamisella lihaskestävyydellä: istumaannousu ( $r = -0,55, p < 0,001$ ), etunojapunnerrus ( $r = -0,53, p < 0,001$ ) ja käsinkohonta ( $r = -0,44, p < 0,001$ ). (Pihlainen ym. 2015.) Blount ym. (2013) tutkivat sotilaiden syöksymisnopeutta 3–30 metrin matkoilla. Koehenkilöillä oli päällään 30 kg painoinen taisteluvarustus. Alaraajojen nopeusvoima oli voimakkaimmin yhteydessä syöksymisnopeuteen: vauhditon pituushyppy ( $r = -0,74, p < 0,001$ ) ja vertikaalishyppy ( $r = -0,75, p < 0,001$ ).

Alaraajojen lisääntynyt maksimivoima saattaa selittää parantunutta tehtäväsimulaatoradan suoritusaikaa ja 3 000 metrin juoksutestin tuloksen muutoksen yhteyttä tehtäväsimulaatoradan ajan muutokseen. Alaraajojen maksimivoiman muutos ( $10,1 \% \pm 15,4, p < 0,001$ ) nousi heikoksi selittäjäksi regressioanalyysiin, johon ei otettu mukaan 3 000 metrin juoksua. Mallin selitysaste vain  $10,4 \% (p < 0,01)$ . Alaraajojen maksimivoiman muutos oli yhteydessä tehtäväsimulaatoradan ( $r = -0,228, p = 0,085$ ) ja 3 000 metrin juoksun ( $r = -0,201, p = 0,130$ ) muutokseen, mutta yhteydet eivät olleet merkitseviä. Vaikka yhteys oli heikko, alaraajojen maksimivoima parantaa sekä kestävyysuoritusta että tehtäväsimulaatoradan kaltaista suoritusta, joten näihin molempiin vaikuttamalla se lisää myös 3 000 metrin juoksutestin yhteyttä tehtäväsimulaatoradan suoritukseen.

Voimaharjoittelun on tutkittu lisäävän kestävyysuorituskykyä usean eri mekanismin avulla. Lyhyttä (0–15 minuutin) kestävyysuoritusta parantaa korkeampi maksimi- ja nopeusvoima. Esimerkiksi 5 000 metrin juoksussa on havaittu suorituksen paraneminen 18,3 minuutista 17,8 minuuttiin muuttamalla 32 % normaalista juoksuharjoittelusta nopeusvoimaharjoitteluun. (Paavolainen ym. 1999; Støren ym. 2008; Aagaard & Andersen 2010.)

*Oppimisvaikutus ja motivaatio.* Tehtäväsimulaatoradan liikkeet eivät olleet täysin tuttuja, etenkin raskaassa taisteluvarustuksessa suoritettuna. Lyhytkestoinen erityisen kovatehoinen kuor-

mitus testitilanteessa oli myös monille koehenkilöille uusi kokemus. Pehdytys radan suori-  
 tukseen ei ehkä ollut riittävä. Myös suoritustekniikoiden parantuminen esimerkiksi ryömin-  
 nässä, aseiden käsittelyssä, kahvakuulien kantamisessa ja haavoittuneen evakuoinnissa sekä ylei-  
 sesti oman vartalon hallinnassa, asennoissa ja sijoittumisessa radalla saattoi lisätä suorituksen  
 taloudellisuutta ja parantaa aikaa. Hypoteesi koehenkilöiden vauhdinjaosta oli, että liian kova-  
 tehoinen vauhti alussa saattoi aiheuttaa poikkeuksellisen voimakkaan uupumuksen aikaisessa  
 vaiheessa testiä, jolloin keskimääräinen suoritusteho ei ollut optimaalinen parhaan ajan saa-  
 miseksi. EMG-tulokset eivät kuitenkaan täysin tukeneet tätä teoriaa. Loppumittauksissa li-  
 hasaktiivisuus oli korkea heti radan alusta alkaen (taulukko 6), joten koehenkilöt eivät säästä-  
 neet vauhdissa ainakaan suorituksen alussa. Lihaskäyttö oli myös pysyvä tasaisesti korkealla  
 tasolla loppuun asti, mikä selittyy hermostollisen ohjauksen lisääntymisestä perifeerisen väsy-  
 misen yhteydessä. Sentraalinen väsyminen ei siis rajoittanut suoritusta. Osasuoritusten ajat pa-  
 ranivat tasaisesti kaikissa vaiheissa. Suurin prosentuaalinen parannus tuli haavoittuneen evaku-  
 oinnissa suorituksen loppuvaiheessa, joten perifeerinen väsyminen ei ollut alkumittauksiin ver-  
 rattuna merkittävästi suurempaa. Osasuoritusten aikojen ja niiden muutosten sekä EMG-tulos-  
 ten perusteella koehenkilöiden vauhdinjaossa ei tapahtunut muutosta, mutta motivaatio yrittä-  
 miseen saattoi olla suurempaa.

Spiering ym. (2012) tutkivat sotilaille tyypillisiä suorituksia mittaavien testien luotettavuutta.  
 Testit olivat: 1) 3,2 km juoksu/kävely noin 33 kg painavan varustuksen kanssa, 2) pituushyppy  
 20,5 kg varustuksessa (vauhdin kanssa), 3) yhden toiston maksimaalinen laatikon nosto 155 cm  
 korkuiselle tasolle, 4) 155 cm tasolle nostettujen 20,5 kg laatikoiden määrä 10 minuutissa, 5)  
 haavoittuneen evakuointi, 6) käsikranaatin heitto ja 7) 30 metrin syöksyminen taisteluväline-  
 kassassa (viisi kertaa). Tulokset osoittivat, että molemmat laatikkonostotestit ja käsikranaatin  
 heitto vaativat testin opettelua ennen luotettavien testitulosten saavuttamista. Näiden testien  
 luotettavuus parani suoritusten toistuesssa. Tutkimusartikkelissa ei pohdittu luotettavuutta hei-  
 kentäviä syitä. Käsikranaatin heiton tulos kuitenkin selittyy helposti suorituksen tekniikkaa ja  
 taitoa vaativan luonteen takia. Maksimaalisessa laatikon nostossa tulosta saattoi selittää tekni-  
 kan parantuminen ja oman suoritustason tarkka tunteminen. Useat nostot lähellä yhden toiston  
 maksimia saattoivat aiheuttaa väsymistä ja vaikeuttaa todellisen maksimitason löytämistä. Tie-  
 tämällä aiemman tuloksensa koehenkilöt saattoivat osata optimaalisemmin tähdätä uuteen mak-  
 simisuoritukseen. 10 minuutin toistuvassa laatikoiden nostossa parempaa tulosta myöhemmissä  
 testeissä saattoi selittää tekniikan, taloudellisuuden ja vauhdinjaon parantuminen.



Pandorf ym. (2003) tutkivat sisällä tehtävän esteradan ja laatikonnostotestin luotettavuutta sotilailta. Rata sisälsi muun muassa aitojen ja seinän ylittämistä, siksak-juoksua ja ryömintää. Suorituksen kesto oli hieman yli puoli minuuttia. Laatikonnostotestissä nostettiin toistuvasti 20,5 kg metallilaatikoita 1,3 metrin korkeudelle 10 minuutin ajan. Ennen luotettavien tulosten saavuttamista esterata vaati kaksi ylimääräistä suorituskertaa, laatikonnosto yhden.

Angeltveitin ym. (2016) mukaan evakuointitestissä saavutetaan luotettavia tuloksia toisella suorituskerralla. Ensimmäisessä testikerralla huomattiin, että koehenkilöiden vaihtaessa kättä kesken suorituksen, nukke pysähtyi kokonaan ja se oli vaikea saada uudelleen liikkeelle. Koehenkilöitä kehoitettiin seuraavissa suorituksissa raahaamaan samalla kädellä koko testin ajan. Tässä tutkimuksessa tehtiin vastaavia havaintoja, että haavoittunutta kuvaavan hiekkasäkkiyhdistelmän jatkuva pysähtely ei todennäköisesti ollut taloudellisin suoritustyyli, jonka myös koehenkilöt saattoivat oppia ja muuttaa tekniikkaansa seuraavassa tehtäväsimulaation suorituksessa.

Foulis ym. (2017) tutkivat Yhdysvaltain maavoimien uusien tehtäväkohtaisten simulaatiotestien luotettavuutta. Kahdeksan testiä ovat: 18,1 kilon hiekkasäkkien kanto, 123 kg haavoittuneen raahaaminen (15 m), haavoittuneen evakuointi panssarivaunusta, tulen alla liikkuminen, ampumatarvikkeiden (25 kg) pakkaaminen vaunuun, ampumatarvikkeiden (25 kg) lataaminen, tykistön ampumatarvikkeiden (45 kg) käsittely ja 6,4 km jalkamarssi. Lisäkuorma jalkamarssissa on 47 kg, muissa testeissä tehtäväkohtaisen taisteluvärustuksen paino on 22–38 kg. Sotilaat toistivat testit 4 kertaa 7 päivän aikana. Kaikissa vaiheissa suoritus harjoiteltiin kerran ennen varsinaista testiä. Oppimisvaikutusta ei havaittu haavoittuneen raahaamisessa ja jalkamarssissa. Toisen suorituksen jälkeen oppimista ei tapahtunut hiekkasäkkien kannossa, haavoittuneen evakuoinnissa tai tulen alla liikkumisessa. Tutkimusryhmä esitti oppimisvaikutuksen olevan ampumatarvikkeiden pakkaamisessa, -lataamisessa ja -käsittelyssä kaikista suurin. Pakkaamisessa ja lataamisessa tulokset paranivat kaikissa neljässä testivaiheessa, mikä voi selittyä pelkästään oppimisella. Suoritukset toisaalta olivat sotilaille entuudestaan vähiten tuttuja.

## 8.2 Tutkimuksen arviointi

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selittämään tehtäväsimulaattorin ajan muutosta fyysisen toimintakyvyn ja kehon koostumusten muutoksilla. Toimintakyvyn tekijöistä anaerobista kapasiteettia tai -tehoa mittaavia testejä ei kuitenkaan tehty, joten tietoa niiden merkityksestä tehtäväsimulaattorin radalla ei saatu.

Toimenpiteet tehtäväsimulaattorin oppimisvaikutuksen minimoimiseksi eivät olleet riittäviä. Vastaavat testit vaativat 1–2 suorituskertaa ennen luotettavien tulosten saamista (Pandorf ym. 2003; Spiering ym. 2012; Angeltveit ym. 2016). Ampumatarvikkeiden käsittelytesteissä on havaittu oppimista vielä neljännellä suorituskerralla (Foulis ym. 2017). Koehenkilöt saivat harjoitella radalla etenemistä ja seurata muita suorituksia, mutta varsinaista tarkasti kontrolloitua harjoittelua ei toteutettu. Osa koehenkilöistä ei harjoitellut suoritusta lainkaan ennen testiä. Luotettavan tuloksen saavuttamiseksi perehdyttäminen tehtäväsimulaattorin radalla olisi pitänyt tehdä erillisenä päivänä. Radan suoritus olisi ohjeistettu erityisen huolellisesti, ja koehenkilöt olisivat suorittaneet testin esimerkiksi kerran ilman taisteluvälineitä sekä 1–2 kertaa taisteluvälineiden kanssa.

3 000 metrin juoksutesti mittaa aerobista kestävyyskuntoa 12 minuutin juoksutestin tapaan. Maksimaalisen hapenottokyvyn ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) arvioiminen 12 minuutin juoksutestin tuloksen perusteella on luotettavaa (Cooper 1968), mutta tässä tutkimuksessa käytetyn juoksutestin tuloksen parantumisesta saattoi myös selittää muut tekijät, kuten oppimisvaikutus. Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi olisi antanut tarkempaa tietoa siitä, onko  $\text{VO}_{2\text{max}}$  yhteydessä tehtäväsimulaattorin aikaan tai sen muutokseen.

Tehtäväsimulaattorin yhteydessä mitattiin myös kevennyshyppy sekä taisteluvälineiden kanssa. Loppumittauksissa ei kuitenkaan mittauksia pystytty toteuttamaan laiterikon takia, eikä uutta voimalevyä olisi pystytty hankkimaan operaatioalueelle riittävän ajoissa. Kotimaassa vastaava tilanne ei todennäköisesti olisi muodostunut ongelmaksi. Olosuhteiden takia mittausvälineistöä olisi pitänyt olla varalla tai nopeasti saatavilla. Kevennyshypyistä saatiin kuitenkin dataa KRITOKY-tutkimuksen alku- ja välimittauksissa. Tähän tutkimukseen päädyttiin ottamaan tarkasteluväliksi koko kuuden kuukauden jakso huolimatta loppumittausten datan puuttumisesta, sillä kevennyshyppy eivät nousseet regressiomalleihin tehtäväsimulaattorin suori-

tusajan muutosta selittäviksi tekijöiksi alku- ja välimittausten välillä. Alaraajojen nopeusvoimasta saatiin silti tietoa mittaamalla vauhditonta pituushyppyä. Lisäksi Harmanin ym. (2008) mukaan horisontaalihyppy on vertikaalihyppyä vahvemmin yhteydessä tehtäväsimulaatorin suoritukseen sen eteenpäin voimaa tuottavan lihastyötavan takia.

Tämän tutkimuksen vahvuuksiin voidaan lukea se, että se tuotti lisää tietoa aiheesta, josta on tehty vähän aiempia tutkimuksia. Tehtäväsimulaatiotestit ovat tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena asevoimissa ympäri maailman. Muita vahvuuksia oli koehenkilöiden riittävä määrä lineaarisen regressioanalyysin tekemiseen, joka edellyttää noin 50–100 havaintoa (Nummenmaa 2009, 329). Käytetyt mittausvälineet olivat valideja ja mittaushenkilöstö koulutettuja kuntotestaa- jia.

### 8.3 Jatkotutkimusehdotukset

Mahdollisten uusien kuntotestien ottamista käyttöön Puolustusvoimissa on tutkittava. Reillyn ym. (2015) mukaan fyysisen toimintakyvyn suoritusvaatimuksia määritettäessä on huomioitava viisi asiaa: a) sotilaille tyypillisten tehtävien tunnistaminen ja niistä suoriutumisen riittävä turvallinen ja tehokas taso, b) sotilashenkilöstön osallistuminen suunnitteluprosessiin, c) sopivien testien ja kuntostandardien laatiminen, d) testien ja kuntostandardien toistettavuuden ja puolueettomuuden tutkiminen, e) testien tarkastelu käyttöönoton jälkeen ja niiden muuttaminen tarvittaessa. Riittävän fyysisen toimintakyvyn standardeja määritettäessä on huomioitava, mikä on riittävä taso suoriutua haastavimmista ja kriittisimmistä tehtävistä, ja mikä voi olla seuraus kyvyttömyydestä suorittaa niitä. Kuntotestien on oltava yksinkertaisia, loogisia tehtävään nähden ja helposti toteutettavia. Tehtäväsimulaatorin kaltaisten testien käyttöönottoa suositellaan.

Sotilaille tyypilliset tehtävät ovat muuttuneet viime vuosina ja niistä on kattavasti kansainvälistä tutkimustietoa saatavilla. Lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan täydentämään tietoa eri tehtävien – erityisesti uuden taistelutavan – kuormittavuudesta Puolustusvoimissa. Tieto sotilailta vaadittavasta fyysisestä toimintakyvystä on perusta sopivien kuntotestien laatimiselle. Sotilailta vaadittavan monipuolisen fyysisen toimintakyvyn tärkeys tiedetään, mutta Puolustusvoimien kuntotestit eivät tällä hetkellä mittaa kaikkia ominaisuuksia (kuvio 6). Varsinaisia maksimivoimatestejä ei ole, mutta vauhdittoman pituushypyn on tutkittu korreloivan hyvin alaraajojen maksimivoiman kanssa. Anaerobista tehoa tai -kapasiteettia ei mitata. Istumaannousussa ja



mitata erikoisjoukkosotilaiden anaerobista kapasiteettia. Tutkimus osoitti evakuointitestin tuloksen korreloivan hyvin anaerobista kapasiteettia mittaavien testien kanssa, mutta lisää tietoa anaerobisen kapasiteetin merkityksestä eri sotilastehtävissä ja suorituksissa tarvitaan.

Anaerobista tehoa ja kapasiteettia voidaan mitata erilaisilla testeillä, kuten Wingaten 30 sekunnin polkupyöräergometritesti. Testi mittaa vain maksimaalista alaraajojen anaerobista työtä, joten se todennäköisesti ei sovellu ainoana testinä arvioimaan sotilastehtävissä vaadittavaa anaerobista suorituskyyä. Ylävartalon anaerobista suorituskyyä voidaan mitata vastaavalla menetelmällä, mutta käytännöllisyyden kannalta olisi parasta pystyä yhdellä testillä arvioimaan sotilaan koko kehon anaerobista suorituskyyä. Monissa tapauksissa paras keino on käyttää testeissä sitä aktiviteettia, jota halutaan mitata. (McArdle ym. 2015, 231.)

Tehtäväsimulaattorin suoritusta olisi tutkittava uudelleen siten, että mitataan muiden fyysisen toimintakyvyn tekijöiden lisäksi myös anaerobista kapasiteettia. Sekä aerobisen että anaerobisen suorituskyyvyn yhteyksien tarkasteleminen antaisi ymmärrystä siitä, kumpi tekijä on tärkeämpi tehtäväsimulaattorin kaltaisessa suorituksessa. Tarvitaan myös tietoa siitä, minkälainen anaerobisen suorituskyyvyn ja lihasvoiman taso suhteessa aerobiseen suorituskyykyyn riittää sotilaalla. Tehtäväsimulaattorin suorituksella saattaisi olla vahva itsenäinen yhteys anaerobiseen kapasiteettiin, mutta taistelutilanteessa tehtävä todennäköisesti jatkuu myös lyhyen intensiivisen suorituksen jälkeenkin – korkean anaerobisen kapasiteetin ja lihasvoiman sekä heikomman aerobisen kestävyvyn omaavan sotilaan toimintakyky ei tällaisessa tilanteessa todennäköisesti olisi riittävä.

Tämän tutkimuksen koehenkilöt olivat kriisinhallintapalveluksessa olevia hyväkuntoisia sotilaita, joiden ikähajonta oli suuri. Vastaavaa tutkimustietoa fyysisestä toimintakyvystä täytyy saada myös erityisesti siitä reserviläisjoukosta, joka toimii sodan aikana operatiivisissa tehtävissä. Tieto sotilastehtävissä vaadittavasta fyysisestä toimintakyvystä ei vielä riitä – teoria on pystyttävä sitomaan käytäntöön. Sotilaille sopivia, tehokkaita, turvallisia ja helposti toteutettavia harjoittelumenetelmiä on tutkittava.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

1. Tässä tutkimuksessa ei löydetty vahvoja selittäjiä tehtäväsimulaatioradan ajan muutokselle. Regressiomallien matalat selitysasteet tarkoittavat, että valtaosa muutoksesta selittyy tuntemattomaksi jääneillä tekijöillä. Oppimisvaikutuksella ja motivaatiolla saattoi olla suuri merkitys. Mahdollinen aerobisen ja/tai anaerobisen energiantuoton paraneminen saattoi lisätä suorituskyyä tehtäväsimulaatioradalla, mutta asia vaatii jatkotutkimuksia.

2. Kehon koostumuksen ja fyysisen toimintakyvyn muuttujat olivat alku- ja loppumittauksissa yhteydessä tehtäväsimulaatioradan aikaan odotetulla tavalla. Suuremmasta lihasmassasta ja alhaisesta kehon rasvasta oli hyötyä tehtäväsimulaatioradalla. 3 000 metrin juoksulla ja kaikilla lihasvoimatesteillä oli myös yhteys radan suoritukseen molemmissa mittauksissa – voimakaimmat korrelaatiot olivat alaraajojen nopeusvoimalla (vauhditon pituushyppy) ja etunojapunnerruksella. Aikaisemmat tutkimukset ovat tehneet vastaavia havaintoja.

3. Energiantuottomekanismien merkityksestä tehtäväsimulaatioradan suorituksessa ei saatu tässä tutkimuksessa riittävän tarkkaa tietoa, eikä aiempaa tutkimustietoa aiheesta ole riittävästi saatavilla. Aiempien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että sotilastehtävissä tarvitaan monipuolista fyysistä toimintakykyä, mutta lihasvoiman, aerobisen- ja anaerobisen suorituskyvyn riittävästä tasosta kriittisissä suorituksissa on saatava lisää tietoa.

4. Tehtäväsimulaatiotestien validiteettia, luotettavuutta, toistettavuutta ja turvallisuutta on tutkittava lisää. Tässä tutkimuksessa käytetty tehtäväsimulaatiorata saattaa olla käytännön järjestyiden takia huono mittaamaan suuria joukkoja Puolustusvoimissa. Rataa voi kuitenkin käyttää uudelleen tutkimuksissa, joissa pyritään kehittämään vastaavaa fyysistä toimintakykyä mittaavia helpommin toteutettavia testejä. Ennen vaihtoehtoisen testin käyttöönottoa on tutkittava, kuinka monta suoritusta testi vaatii ennen kuin saadaan luotettavia tuloksia.

## 10 LÄHTEET

Aagaard, P., & Andersen, J. L. 2010. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 20(s2), 39–47.

Arver, S., & Lehtihet, M. 2009. Current guidelines for the diagnosis of testosterone deficiency. *Frontiers of Hormone Research* 37, 5–20.

Australian Defence Force. 2017. Health & Fitness. Viitattu 14.3.2017. <http://www.defencejobs.gov.au/recruitment-centre/can-i-join/health-fitness/>

Avela, J., Mero, A. & Kyröläinen, H. 2016. Hermo-lihasjärjestelmän rakenne ja toiminta. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. *Huippu-urheiluvalmennus. Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy.

Batchelor, J. E. 2008. The applicability of the army physical fitness test in the contemporary operating environment. Army Command and General Staff College. Fort Leavenworth, Kansas.

Beck, B., Carstairs, G. L., Billing, D. C., Caldwell, J. N., & Middleton, K. J. 2017. Modifiable Anthropometric Characteristics Are Associated With Unilateral and Bilateral Carry Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 31(2), 489–494.

Bell, N. S., Schwartz, C. E., Harford, T., Hollander, I. E., & Amoroso, P. J. 2008. The changing profile of disability in the US Army: 1981–2005. *Disability and health journal* 1(1), 14–24.

Bigland-Ritchie, B. 1981. EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and sport sciences reviews* 9(1), 75–118.

Billing, D. C., Silk, A. J., Tofari, P. J., & Hunt, A. P. 2015. Effects of military load carriage on susceptibility to enemy fire during tactical combat movements. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S134–S138.

Bilzon, J. L. J., Allsopp, A. J., & Tipton, M. J. 2001. Assessment of physical fitness for occupations encompassing load-carriage tasks. *Occupational Medicine* 51(5), 357–361.

Blount, E. M., Ringleb, S. I., Tolk, A., Bailey, M., & Onate, J. A. 2013. Incorporation of physical fitness in a tactical infantry simulation. *The Journal of Defense Modeling and Simulation* 10(3), 235–246.

Bompa, T. O., & Haff, G. G. 2009. Periodization: Theory and methodology of training. *Human Kinetics*.

Borg G. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 14, 377–381.

Brooks, K. A., & Carter, J. G. 2013. Overtraining, exercise, and adrenal insufficiency. *Journal of novel physiotherapies* 3(125).

Carstairs, G. L., Ham, D. J., Savage, R. J., Best, S. A., Beck, B., & Doyle, T. L. 2016. A Box Lift and Place Assessment is Related to Performance of Several Military Manual Handling Tasks. *Military medicine* 181(3), 258–264.

Cooper, K. H. 1968. A means of assessing maximal oxygen intake: correlation between field and treadmill testing. *Jama* 203(3), 201–204.

Crawford, K., Fleishman, K., Nagai, T., Deluzio, J., Rowe, R. S., & McGrail, M. A. 2011. Less body fat improves physical and physiological performance in army soldiers. *Military medicine* 176(1), 35.

Crowder, T. A., Ferrara, A. L., & Levinbook, M. D. 2013. Creation of a criterion-referenced military optimal performance challenge. *Military medicine* 178(10), 1085–1101.

Davis, J. M., & Bailey, S. P. 1997. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29(1), 45–57.



di Prampero, P. E., & Ferretti, G. 1999. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration physiology* 118(2), 103–115.

Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. 2005. Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *Journal of sports sciences* 23(10), 993–1002.

Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of human movement*. 4. painos. Human kinetics.

Epstein, Y., Rosenblum, J., Burstein, R., & Sawka, M. N. 1988. External load can alter the energy cost of prolonged exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 57(2), 243–247.

Fallowfield, J. L., Blacker, S. D., Willems, M. E., Davey, T., & Layden, J. 2012. Neuromuscular and cardiovascular responses of Royal Marine recruits to load carriage in the field. *Applied ergonomics* 43(6), 1131–1137.

Farina, D., Merletti, R. & Stegeman, D. F. 2004. *Biophysics of the generation of EMG signals*. Teoksessa Merletti, R., & Parker, P. A. *Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications*. John Wiley & Sons.

Finni, T., Hu, M., Kettunen, P., Vilavuo, T., & Cheng, S. 2007. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiological measurement* 28(11), 1405.

Flanagan, S. C., Kotwal, R. S., & Forsten, R. D. 2011. Preparing soldiers for the stress of combat. *Journal of special operations medicine: a peer reviewed journal for SOF medical professionals* 12(2), 33–41.

Forsvaret. 2014. Fysiske krav. Viitattu 14.3.2017. <https://forsvaret.no/karriere/krav/fysiske-krav>

Foulis, S. A., Redmond, J. E., Warr, B. J., Zambraski, E. J., Frykman, P. N., & Sharp, M. A. 2015. Development of the occupational physical assessment test (OPAT) for combat arms soldiers. U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick.

Foulis, S. A., Redmond, J. E., Frykman, P. N., Warr, B. J., Zambraski, E. J., & Sharp, M. A. 2017. U.S. Army Physical Demands Study: Reliability of Simulations of Physically Demanding Tasks Performed by Combat Arms Soldiers. *The Journal of Strength & Conditioning Research* (painossa).

Friedl, K. E., Knapik, J. J., Häkkinen, K., Baumgartner, N., Groeller, H., Taylor, N. A., Duarte, A. F. A., Kyröläinen, H., Jones, B. H., Kraemer, W. J. & Nindl, B. C. 2015. Perspectives on Aerobic and Strength Influences on Military Physical Readiness: Report of an International Military Physiology Roundtable. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S10–S23.

Gagnon, P., Spivock, M., Reilly, T., Mattie, P., & Stockbrugger, B. 2015. The FORCE Fitness Profile – Adding a Measure of Health-Related Fitness to the Canadian Armed Forces Operational Fitness Evaluation. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S192–S198.

Gibbons-Neff, T. 2016. How the Marines' new physical standards for combat jobs weed out men and women. *The Washington Post*. Viitattu 15.3.2017. [https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2016/06/22/how-the-marines-new-physical-standards-for-combat-jobs-weed-out-men-and-women/?utm\\_term=.1771e2f230d1](https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2016/06/22/how-the-marines-new-physical-standards-for-combat-jobs-weed-out-men-and-women/?utm_term=.1771e2f230d1)

Gibson, A. S. C., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. 2001. Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Medicine* 31(9), 637–650.

Gibson, H. & Edwards, R. H. T. 1985. Muscular exercise and fatigue. *Sports Medicine* 2(2), 120–132.

Harbin, G. & Olsen, J. 2005. Post-offer, pre-placement testing in industry. *American Journal of Industrial Medicine*, 47(4) 296–307.

Harman, E. A., & Frykman, P. N. 1992. The relationship of body size and composition to the performance of physically demanding military tasks (pp. 105–118). Washington, DC: National Academy Press.

Harman, E. A., Gutekunst, D. J., Frykman, P. N., Sharp, M. A., Nindl, B. C., Alemany, J. A., & Mello, R. P. 2008. Prediction of simulated battlefield physical performance from field-expedient tests. *Military medicine* 173(1), 36–41.

Henning, P. C., Park, B. S., & Kim, J. S. 2011. Physiological decrements during sustained military operational stress. *Military medicine* 176(9), 991.

Hoffman, M. W., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Landua, G., Fukuda, D. H., Sharvit, N., Moran, D. S., Carmon, E., & Ostfeld, I. 2016. Critical Velocity Is Associated With Combat-Specific Performance Measures in a Special Forces Unit. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 30(2), 446–453.

Hydren, J. R., & Zambraski, E. J. 2015. International Research Consensus: Identifying Military Research Priorities and Gaps. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S24–S27.

Hydren, J. R., Borges, A. S., & Sharp, M. A. 2017. Systematic Review and Meta-Analysis of Predictors of Military Task Performance: Maximal Lift Capacity. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 31(4), 1142–1164.

Hynynen, E. 2016. Hengitys- ja verenkiertoelimistö. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. Huippu-urheiluvalmennus. Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannus Oy.

Häkkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Campbell, W. W., Evans, W. J., Häkkinen, A., Humphries, B. J., Kraemer, W. J. 1998. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 53(6), B415–B423.

Jaenen, S. 2009. Identification of common military tasks. In: *Optimizing Operational Physical Fitness*. Technical Report TRHFM-080. Paris, France: NATO Research and Technology Organization.

Jaworski, R. L., Jensen, A., Niederberger, B., Congalton, R., & Kelly, K. R. 2015. Changes in combat task performance under increasing loads in active duty marines. *Military medicine* 180(3S), 179–186.

Jones, A. M., & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine* 29(6), 373–386.

Knapik, J., Staab, J., Bahrke, M., Reynolds, K., Vogel, J., & O'Connor, J. 1991. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Military medicine*.

Knapik, J., Sharp, M. A., Canham-Chervak, M., Hauret, K., Patton, J. F., & Jones, B. H. 2001. Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Medicine and science in sports and exercise* 33(6), 946–954.

Knapik, J., Reynolds, K. L., & Harman, E. 2004. Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Military medicine* 169(1), 45.

Knapik, J. J., Harman, E. A., Steelman, R. A., & Graham, B. S. 2012. A systematic review of the effects of physical training on load carriage performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 26(2), 585–597.

Kokko, J. 2008. Vertaileva tutkimus taisteluväestöjen fyysisestä kuormittavuudesta. Pro gradu. Maanpuolustuskorkeakoulu.

Kraemer, W. J., Fragala, M. S., Watson, G., Volek, J. S., Rubin, M. R., French, D. N., Maresh, CM, Vingren, JL, Hatfield, DL, Spiering, BA, Yu-Ho, J, Hughes, SL, Case, HS, Stuempfle, KJ, Lehmann, DR, Bailey, S, and Evans, DS. & Yu-Ho, J. 2008. Hormonal responses to a 160-km race across frozen Alaska. *British journal of sports medicine* 42(2), 116–120.

Kraemer, W. J., & Szivak, T. K. 2012. Strength training for the warfighter. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 26, S107–S118.

Kraemer, W. J., Feltwell, D. & Szivak, T. K. 2017. Physiological Issues Related to Military Personnel. Teoksessa Alvar, B. A., Sell, K. & Deuster, P. A. 2017. Essentials of Tactical Strength and Conditioning. Human kinetics.

Kyröläinen, H., Häkkinen, K., Kautiainen, H., Santtila, M., Pihlainen, K., & Häkkinen, A. 2008. Physical fitness, BMI and sickness absence in male military personnel. Occupational Medicine 58(4), 251–256.

Laki puolustusvoimista 2007/551. Annettu Helsingissä 11.5.2007.

Larsen, B., Netto, K., Aisbett, B. 2011. The effect of body armor on performance, thermal stress, and exertion: a critical review. Military medicine 176(11), 1265.

Lyons, J., Allsopp, A., & Bilzon, J. 2005. Influences of body composition upon the relative metabolic and cardiovascular demands of load-carriage. Occupational medicine 55(5), 380–384.

Mala, J., Szivak, T. K., Flanagan, S. D., Comstock, B. A., Laferrier, J. Z., Maresh, C. M., & Kraemer, W. J. 2015. The role of strength and power during performance of high intensity military tasks under heavy load carriage. US Army Medical Department Journal, 3–12.

Malmberg, J. 2011. Physical Fitness Tests in the Nordic Armed Forces – A Description of Basic Test Protocols. The Norwegian Defence University College Norwegian School of Sport Sciences/Defence Institute, Oslo.

Maughan, R. J., & Gleeson, M. 2010. The biochemical basis of sports performance. Oxford University Press.

McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2007. Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance. 6. painos. Wolters Kluwer Health, Baltimore. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2015. Exercise Physiology. Nutrition, Energy, and Human Performance. 8. painos. Wolters Kluwer Health, Baltimore. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Military Advantage. 2017. Viitattu 15.3.2017. <http://www.military.com/military-fitness>

Nindl, B. C., Castellani, J. W., Warr, B. J., Sharp, M. A., Henning, P. C., Spiering, B. A., & Scofield, D. E. 2013. Physiological Employment Standards III: physiological challenges and consequences encountered during international military deployments. *European journal of applied physiology* 113(11), 2655–2672.

Nindl, B. C., Alvar, B. A., Dudley, J. R., Favre, M. W., Martin, G. J., Sharp, M. A., ... & Kraemer, W. J. 2015. Executive summary from the national strength and conditioning association's second blue ribbon panel on military physical readiness: Military physical performance testing. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S216-S220.

Nummela, A. 2016. Kestävyysharjoittelu ja voimaharjoittelu kestävyyslajeissa. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. Huippu-urheiluvalmennus. Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannus Oy.

Nummenmaa, L. 2009. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. 2. painos Helsinki: Tammi.

Orr, R., Pope, R., Johnston, V., & Coyle, J. 2011. Load carriage and its force impact. *Australian defence force journal: Journal of the Australian profession of arms*, 185.

Orr, R., Pope, R., Johnston, V., & Coyle, J. 2013. Soldier self-reported reductions in task performance associated with operational load carriage. *Journal of Australian Strength and Conditioning* 21(3), 39–46.

Orr, R., Pope, R., Johnston, V., & Coyle, J. 2014. Soldier occupational load carriage: a narrative review of associated injuries. *International journal of injury control and safety promotion* 21(4), 388–396.

Orr, R., Johnston, V., Coyle, J., & Pope, R. 2015. Reported load carriage injuries of the Australian army soldier. *Journal of occupational rehabilitation* 25(2), 316–322.

Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. 1999. Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology* 86(5), 1527–1533.

Pandorf, C. E., Nindl, B. C., Montain, S. J., Castellani, J. W., Frykman, P. N., Leone, C. D., & Harman, E. A. 2003. Reliability assessment of two militarily relevant occupational physical performance tests. *Canadian journal of applied physiology* 28(1), 27–37.

Pihlainen, K., Santtila, M., Ohrankämmen, O., Ilomäki, J., Rintakoski, M., & Tiainen, S. 2011. Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja. Pääesikunta. Henkilöstöosasto. Helsinki: Edita Prima.

Pihlainen, K., Santtila, M., Häkkinen, K., Lindholm, H. & Kyröläinen, H. 2014. Cardiorespiratory responses induced by various military field tasks. *Military Medicine* 179(2), 218–224.

Pihlainen, K., Santtila, M., Nyman, K., Nykänen, T., Mäntysaari, M., Vaara, J., Vasankari, T., Rintala, H., Mäkinen, J., Viskari, J., Kyröläinen, H. 2016. Sotilaan toimintakyvyn tutkimus Libanonin Unifil kriisinhallintaoperaatiossa – KRITOKY 2014. Osa I. Pääesikunnan koulutusosasto. Suomen yliopistopaino Oy.

Plowman, S. A. & Smith, D. L. 2011. Exercise physiology for health, fitness and performance. 3. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Pääesikunta, henkilöstöosasto. 2011. Puolustusvoimien hallinnollinen normi HH47/1.3.2011. Fyysisen toimintakyvyn perusteet.

Reilly, T. J., Gebhardt, D. L., Billing, D. C., Greeves, J. P., & Sharp, M. A. 2015. Development and Implementation of Evidence-Based Physical Employment Standards: Key Challenges in the Military Context. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S28–S33.

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamil, J., Kamen, G., and Whittlesey S. N. 2004. Research Methods in Biomechanics. Human Kinetics.

Rosenblum, K. E., Shankar, A. 2006. A study of the effects of isokinetic pre-employment physical capability screening in the reduction of musculoskeletal disorders in a labor intensive work environment. *Work* 26(2), 215–28.

Roussel, M. 2017. The science behind the Occupational Physical Assessment Test. United States Army. Viitattu 16.3.2017. [https://www.army.mil/article/182957/the\\_science\\_behind\\_the\\_occupational\\_physical\\_assessment\\_test](https://www.army.mil/article/182957/the_science_behind_the_occupational_physical_assessment_test)

Roy, T. C., Springer, B. A., McNulty, V., Butler, N. L., 2010. Physical Fitness. *Military Medicine* 175(8), 14–20.

Roy, T. C., Knapik, J. J., Ritland, B. M., Murphy, N., & Sharp, M. A. 2012. Risk factors for musculoskeletal injuries for soldiers deployed to Afghanistan. *Aviation, space, and environmental medicine* 83(11), 1060–1066.

Santtila, M., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., & Kyröläinen, H. 2010. Effects of basic training on acute physiological responses to a combat loaded run test. *Military medicine* 175(4), 273.

Seay, J. F. 2015. Biomechanics of Load Carriage – Historical Perspectives and Recent Insights. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S129–S133.

Sharp, M., Rosenberger, M., & Knapik, J. 2006. Common military task: materials handling (No. USARIEM/MN-MISC-06-31). US Army Research Institute of Environmental Medicine. Natick, Massachusetts.

Silverman, M. N., & Deuster, P. A. 2014. Biological mechanisms underlying the role of physical fitness in health and resilience. *Interface focus* 4(5), 0040.

Spiering, B. A., Walker, L. A., Hendrickson, N. R., Simpson, K., & Sharp, M. A. 2012. Reliability of military-relevant tests designed to assess soldier readiness for occupational and combat-related duties. *Military medicine* 177(6), 663.



Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E. M., & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise* 40(6), 1087.

Szivak, T. K., & Kraemer, W. J. 2015. Physiological readiness and resilience: pillars of military preparedness. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29, S34–S39.

Taylor, N. A., Peoples, G. E., & Petersen, S. R. 2016. Load carriage, human performance, and employment standards 1. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 41(6), S131–S147.

Teplitzky, M. L. 1991. Physical performance predictors of success in Special Forces assessment and selection (No. ARI-RR-1606). U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Alexandria, Virginia.

Terho, A. 2015. Raskaan taakan kantamisen fysiologiset vastineet pitkäkestoisessa kuormituksessa. Pro gradu. Maanpuolustuskorkeakoulu.

Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. 2001. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine* 31(1), 1–11.

Treloar A. K., Billing, D. C. 2011. Effect of load carriage on performance of an explosive, anaerobic military task. *Military medicine* 176(9), 1027.

Tsatsoulis, A., & Fountoulakis, S. 2006. The protective role of exercise on stress system dysregulation and comorbidities. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1083(1), 196–213.

Vanderburgh, P. M. 2007. Correction factors for body mass bias in military physical fitness tests. *Military medicine* 172(7), 738–742.

Vergun, D. 2017. Army implements new fitness standards for recruits and MOS transfers. United States Army. Viitattu 16.3.2017. [https://www.army.mil/article/180199/army\\_implements\\_new\\_fitness\\_standards\\_for\\_recruits\\_and\\_mos\\_transfers](https://www.army.mil/article/180199/army_implements_new_fitness_standards_for_recruits_and_mos_transfers)

Viljanen, T., Viitasalo, J. T., & Kujala, U. M. 1991. Strength characteristics of a healthy urban adult population. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 63(1), 43–47.

Williams, A. G., Rayson, M. P., & Jones, D. A. 2002. Resistance training and the enhancement of the gains in material-handling ability and physical fitness of British Army recruits during basic training. *Ergonomics* 45(4), 267–279.

Wilmore, J. H. 1968. Influence of motivation on physical work capacity and performance. *Journal of applied physiology* 24(4), 459–463.

Wunderlin, S., Roos, L., Roth, R., Faude, O., Frey, F., & Wyss, T. 2015. Trunk muscle strength tests to predict injuries, attrition and military ability in soldiers. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 55(5), 535–543.